

Cuprins

1. Obiectul, metodele și mijloacele astronomiei	7
Generalitati	7
Metodele cercetarii astronomice	11
Instrumentele observatiei astronomice	12
Observatoare astronomice	23
2. Orientarea pe bolta cereasca	25
Sfera cereasca	25
Miscarile aparente ale stelelor	29
Timpul	35
Coordonatele astronomice	40
3. Sistemul Solar	47
Structura Sistemului Solar	47
Planetele	49
Luna	75
Planetoizii	89
Cometele	90
Meteorii, meteoritii	92
Materia interplanetara	95
Formarea Sistemului Solar	96
4. Stelele	99
Soarele	99
Identificarea stelelor	106
Magnitudinea si departarea stelelor	107
Marimi de stare ale stelelor	112
Structura interna a stelelor	124
Procese de emisie de energie în stele	125
Diagrame de stare; Tipuri de stele	127
Cosmogonia stelelor	133
5. Sistemele stelare	139
Galaxia Calea Lactee	139
Sisteme stelare extragalactice	148

6. Structura și evoluția Cosmosului	155
Structura Cosmosului	155
Evoluția Universului	160

7. Istoria astronomiei	165
Începuturile astronomiei	165
Astronomia la începutul Antichității	166
Astronomia în Antichitate	168
Reprezentări ale Universului în Antichitate	169
Astronomia modernă	171
Evoluția astronomiei clasice	173
Dezvoltarea astronomiei ca disciplină de specialitate	176
Cercetarea astronomică în secolul al XX-lea	177
Istoria astronomiei - Tabel cronologic	182

Unități fizice și simboluri astronomice; abrevieri	188
---	------------

Index	189
--------------------	------------

În această carte sunt folosite următoarele simboluri:

- ↗ Trimitere la un alt titlu
- Exemplu

Obiectul, metodele și mijloacele astronomiei

GENERALITĂȚI

Astronomia

Știința proprietăților fizice, a compoziției chimice, a structurii, a distribuției spațiale, a deplasării, apariției și evoluției obiectelor cosmice. Astronomia este una dintre cele mai vechi științe ale naturii.

↗ Tabel cronologic privind istoria astronomiei, p. 182.

Obiectul de studiu. Starea și evoluția Universului, ca și a sistemelor și a corpurilor cerești conținute în acesta.

Domenii științifice. Astronomia este împărțită în domenii, între care există multiple legături. Întrucât la baza împărțirii în domenii stau diferite puncte de vedere, domeniile științifice pot fi doar cu aproximație decupate.

Clasificarea după tipul radiației cercetate	
Domeniul	Radiația studiată
<i>Astronomia optică</i>	Unde electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 400 nm... 800 nm* (domeniul optic, lumină)
<i>Astronomia nonoptică</i> <i>(radioastronomia)</i>	radiații invizibile: radiații electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 1 mm... 20 m (radiație de radiofrecvență)
Astronomia în infraroșu	unde electromagnetice cu lungimi de cca. 0,001 mm... 1 mm (radiație infraroșie)
Astronomia în ultraviolet	radiații electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 10 nm... 400 nm (radiație ultravioletă)
Astronomia Roentgen	radiații electromagnetice cu lungimi de undă de cca. 0,01 nm ... 10 nm (radiație Roentgen)
Astronomia în gamma	radiații electromagnetice cu lungimile de undă până la 0,01 nm (radiație gamma)
<i>Neutrinicastronomia</i>	neutrinii emiși de obiectele cosmice

* 1 nanometru (nm) = 10⁻⁹ m

Clasificarea după obiectivul urmărit și după metodele utilizate	
Domeniul	Obiectiv / Metode
<i>Astronomie clasică</i>	Determinarea pozițiilor și a mișcărilor corpurilor cerești prin metode astronomice și metode ale mecanicii cerești.
Astronomie (astronomie sferică, astronomie pozițională)	Măsurarea poziției corpurilor cerești pe bolta cerească, precum și metode și instrumente necesare îndeplinirii acestei sarcini.
Mecanică cerească	Cercetarea deplasării corpurilor cerești în spațiu, care se manifestă sub influența forțelor gravitaționale. Determinarea traiectoriei corpurilor cerești (în special a corpurilor aparținând Sistemului Solar).
<i>Statistică stelară</i>	Cercetarea repartiției spațiale și a mișcării stelelor prin metode statistice, în scopul aprofundării cunoștințelor despre structura Căii Lactee (și a altor galaxii), despre mișcările din interiorul galaxiilor, ca și despre răspândirea galaxiilor în Univers.
<i>Astrofizică</i>	Cercetarea caracteristicilor fizice și a compoziției chimice a corpurilor cosmice, precum și cercetarea modificărilor survenite în evoluția acestor corpuri, atât prin studierea radiațiilor emise de ele din punct de vedere al intensității, polarizării și compoziției, cât și prin studii teoretice.
<i>Cosmogonie</i>	Cercetarea apariției și evoluției corpurilor cerești.
<i>Cosmologie</i>	Cercetarea structurii și a evoluției întregului Univers.

Cosmos, Univers

Totalitatea spațiului ocupat de substanță și energie.

În prezent, cercetării astronomice îi este accesibil un spațiu cu o rază de cca 4 miliarde de parseci (aproximativ 13 miliarde de ani-lumină). Partea observabilă a Universului este apreciată a avea o masă totală de circa 5×10^{21} mase solare.

↗ Unități de distanță, p. 111; ↗ Soarele, p. 99.

Gravitația

Interacțiunea universală a întregii materii, legată de proprietatea acestora de a deține masă.

O desemnare specială a gravitației ca forță a greutatei caracterizează atracția maselor plasate în apropierea Pământului sau a altor corpuri cerești, atracție datorată masei Pământului, respectiv masei altor corpuri cerești.

↗ Legea gravitației, p. 48.

↗ Accelerația gravitațională, p. 120.

Corpuri cerești

Toate corpurile naturale aflate în Univers, în special stele și planete. Într-un sens mai larg, sateliți, planetoizi, comete și meteoriți.

Materie interstelară

Nori de gaze și de praf cu o mare întindere, dar cu o densitate redusă, aflați între stelele Căii Lactee sau în alte sisteme stelare. Gazele și praful compun, împreună, materia interstelară. În centrul galaxiei, gazele se găsesc într-o proporție de 99%. ↗ Structura Căii Lactee, p. 140.

↗ Materia interplanetară, p. 95. ↗ Materia intergalactică, p. 154.

Câmpuri în Univers

Porțiuni în Univers în care fiecărui punct i se atribuie o anumită valoare a unei mărimi fizice (forța gravitației, intensitatea câmpului electric, intensitatea câmpului magnetic etc.).

Câmpul gravitațional. Fiecare corp, ca urmare a existenței masei sale, este înconjurat de un câmp gravitațional. Fiecărui punct al câmpului gravitațional i se atribuie o intensitate a câmpului egală cu $G \cdot m \cdot r^{-2}$ (G = constanta gravitațională; m = masă; r = distanța până la centrul de masă). Lucrul mecanic necesar aducerii unei mase de probă din Univers în câmpul gravitațional al unui corp este egal cu produsul dintre masa corpului de probă și potențialul gravitațional al câmpului gravitațional $G \cdot m \cdot r^{-1}$. Câmpul gravitațional se manifestă radial, din toate masele aflate în Univers, în toate direcțiile. ↗ Legea gravitației, p. 48.

Câmpul magnetic. Pământul, Soarele și multe alte corpuri cerești sunt înconjurat de câmpuri magnetice de intensități diferite.

Câmpurile magnetice apar ca urmare a proceselor fizice care au loc în interiorul obiectelor cerești și influențează, la rândul lor, condițiile fizice de la suprafața și din vecinătatea obiectelor cerești.

↗ Magnetosfera Pământului, p. 65. ↗ Câmpul magnetic al Soarelui, p. 100.

↗ Activitatea solară, p. 104. ↗ Câmpul magnetic al stelelor, p. 121.

În norii formați din gaze interstelare, câmpul magnetic se produce prin mișcarea particulelor încărcate electric (ioni, plasmă etc.).

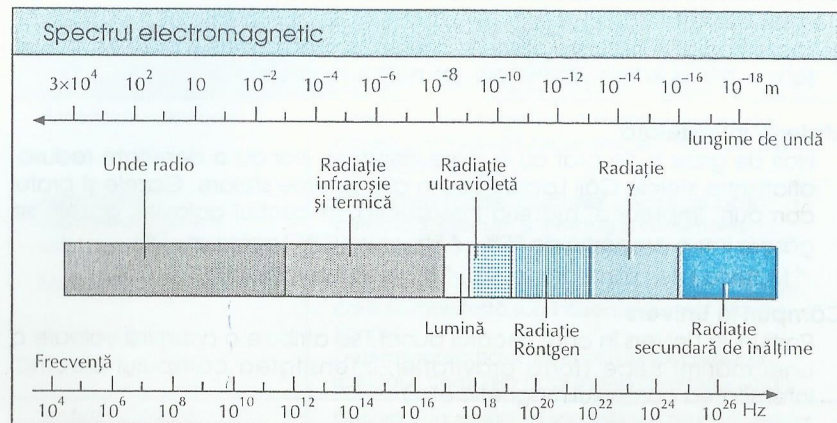
↗ Gazul interstelar, p. 144. ↗ Câmpul magnetic interplanetar, p. 47.

↗ Materia intergalactică, p. 154.

Câmpuri de radiație. Zone din Cosmos în care energia se propagă sub forma undelor electromagnetice sau a particulelor materiale.

În cazul unei radiații electromagnetice, în jurul sursei de radiație (de exemplu soarele, stelele) se propagă câmpuri electrice și magnetice. Intensitatea acestora este variabilă în fiecare punct.

Până la mijlocul secolului al XX-lea, dintre undele electromagnetice emise de stele nu puteau fi studiate decât radiațiile luminoase. Din 1950, acestora li s-au adăugat și emisia radio. Prin zborurile cosmice, cercetării astronomice li s-a adăugat și dispozițiile întreg spectrul electromagnetic.



Limitele cunoașterii

Limitele tehnologice sau naturale condiționează cunoașterea umană. Limitele cunoașterii în astronomie pot fi temporare sau principiale.

Limite ale cunoașterii impuse de dezvoltarea tehnică

Acestea sunt date de tipul, de sensibilitatea aparatelor și de acuratețea metodelor. Cu ajutorul unor aparate și metode perfecționate, limitele cunoașterii sunt împinse tot mai departe.

- Descoperirea și continua perfecționare a telescopului a făcut ca numărul corpurilor cerești observate să crească în mod continuu.
- Folosirea fotografiei în astronomie a făcut ca multe alte corpuri cerești să devină vizibile.
- Radioastronomia a lărgit porțiunea din spectrul electromagnetic accesibilă observației.
- Posibilitatea de observare din afara atmosferei, împreună cu apariția de noi instrumente (ex. telescopul Roentgen) a făcut practic accesibil întregul spectru al undelor electromagnetice.
- Cu ajutorul zborurilor cosmice, cercetarea Sistemului Solar se poate desfășura „la fața locului”.
- Prin observarea neutrinelor sau prin confirmarea existenței undelor gravitaționale, în viitor se poate câștiga un domeniu total nou pentru cercetare.

Limite ale cunoașterii impuse de natură. Informațiile transportate de suporturile de informație (de exemplu, unde electromagnetice, unde gravitaționale, neutrini) se pot deplasa cel mult cu viteza luminii. De aceea, o privire aruncată în adâncul Universului este, în același timp, o privire în trecutul său temporal.

- Lumina venită de la Steaua Polară, aflată la 650 de ani – lumină, informează despre starea sa din urmă cu 650 de ani. Despre o stare mai apropiată nu

putem afla, în mod principal, nimic. Universul observabil în momentul de față a luat naștere probabil în urmă cu $15... 20 \times 10^9$ ani. Toate informațiile despre evenimente desfășurate în acest Univers pot proveni de la o depărtare de cel mult $15... 20 \times 10^9$ ani-lumină. Nu ne pot parveni informații despre ceea ce a fost înainte de nașterea Universului sau despre ceea ce se află în exteriorul său. Oamenii nu pot privi dincolo de începuturile temporale ale Universului.

Orizontul evenimentelor. Prin viteza finită de propagare a luminii și prin vârsta limitată a Universului, sunt limitate granițele principale ale cunoașterii.

METODELE CERCETĂRII ASTRONOMICE

Observarea

Constatate conștientă și cu un scop precis a existenței obiectelor reale și a fenomenelor. Pentru astronomie ea este principalul mijloc pentru îmbogățirea cunoștințelor despre obiectele cosmice și pentru verificarea valabilității afirmațiilor teoretice.

Caracterul conștient și intenționat al constatării se relevă prin:

- alegerea obiectului;
- studiul fenomenului;
- valorificarea rezultatelor.

În cazul observației astronomice este imposibil ca, prin influență umană, să se schimbe cursul unui anumit proces cosmic sau să se determine repetarea acelui proces. Observatorul nu poate, de asemenea, să influențeze obiectul observat; el rămâne pasiv pe tot parcursul procesului.

- Cercetarea domeniilor superioare ale coroanei solare

Acestea pot fi observate

- doar în timpul unei eclipse totale de Soare;
- doar dintr-un punct de observare aflat în banda de totalitate;
- doar pe parcursul a câtorva minute;
- doar când cerul este senin.

Aceste condiții trebuie avute în vedere de către observator atunci când realizează planurile observației, în timpul observației și la valorificarea rezultatelor observației sale.

Întrebări importante ale observației astronomice:

- Din ce direcție vine radiația observată?
- Cât de mare este intensitatea radiației observate?
- Care este compoziția radiației observate?

Experimentul

Acțiune controlată, planificată și bine calculată asupra unui obiect, ale cărei condiții au fost conștient create și pot fi modificate în funcție de necesități.

Experimentele sunt repetabile.

În cazul experimentelor, omul acționează activ asupra obiectelor și fenomenelor studiate.

În astronomie, experimentele sunt relativ rare.

- Cercetarea componenței chimice a unui satelit sau a unei planete (după ce probele de sol ajung pe Pământ sau la locul recoltării, cu ajutorul laboratoarelor automate).

Obiectul studiat poate fi supus, în acest caz, oricând și pentru o perioadă oricât de lungă:

- diferitelor reacții chimice;
- diferitelor acțiuni fizice.

Teoria

O mulțime sistematic ordonată de afirmații; în științele naturale, rezultat al prelucrării mentale a rezultatelor observațiilor și experimentelor.

Rezultatele sunt explicate pentru *verificarea ipotezelor*, pentru a crea modele teoretice precum și pentru *prognosticarea fenomenelor*.

Modelul

În astronomie, prin model se înțelege o reprezentare abstractă – adeseori formulată matematic – a unei clase de obiecte astronomice care, având în vedere una sau mai multe proprietăți, sunt similare.

Multe proprietăți individuale ale obiectelor sunt neglijate, în timp ce altele se adaugă.

- Un model stelar este un sistem de ecuații care descrie starea fizică a unei stele, inclusiv condițiile marginale ce sunt determinate de respectiva stea.

Calculul modelului. Crearea unui model (matematic) pretinde, din cauza complicităților operațiilor matematice, un număr considerabil de calcule.

- O teorie a evoluției stelelor a apărut abia în a doua jumătate a secolului al XX-lea după ce, prin folosirea computerului, calculele amănunțite și complicate s-au putut încheia relativ rapid într-un model matematic al evoluției stelare. Baza pentru această teorie a fost pusă între anii 1930 și 1940.

INSTRUMENTELE OBSERVAȚIEI ASTRONOMICE

Telescopul optic

Instrumente optice cu ajutorul cărora :

- se recepționează mai multă lumină de la obiectele cosmice decât îi este posibil ochiului uman să o facă;
- se pot realiza imagini mărite ale obiectelor cosmice.

Lumina venită de la obiectul observat cade pe un corp optic numit obiectiv, care produce în planul său focal o imagine reală, inversată și micșorată a obiectului.

Această imagine:

- poate fi privită la observația vizuală printr-un ansamblu optic de mărire (ocular).

Avantaj: o imagine concretă, imediat disponibilă.

Dezavantaj: acuratețe redusă, inexistența unei modalități de stocare. poate fi proiectată, la o observație fotografică, pe un strat fotosensibil (placă foto, filtru).

Avantaj: imagine concretă, stocare eficientă.

Dezavantaj: acuratețe scăzută.

- poate fi proiectată pe un receptor fotoelectric (amplificator de imagine, element de stocare a imaginii cu semiconductor).

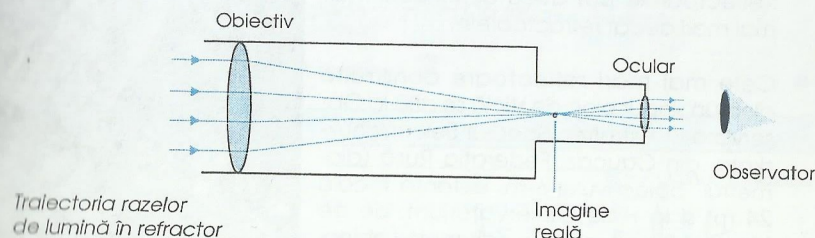
Avantaj: imagine concretă, o foarte mare acuratețe, stocare eficientă în formă digitală.

Dezavantaj: rezoluție mai mică decât materialul fotosensibil.

Prin trecerea de la observația vizuală la cea fotografică sau fotoelectrică, capacitatea telescopului de a face accesibile observației obiecte din ce în ce mai depărtate sau mai slab luminate s-a mărit considerabil. Obiectivul și ocularul sunt în așa fel montate într-un tub încât, pentru a obține cea mai bună imagine, distanța dintre ele se poate modifica.

Refractorul (luneta cu lentilă)

Obiectivul refractorului este o lentilă convergentă, respectiv o combinație de lentile care se comportă ca o lentilă convergentă. Prin montarea împreună a mai multor lentile într-un obiectiv, acțiunea obiectivului de a capta raza de lumină poate fi adaptată scopului pentru care este folosit refractorul.



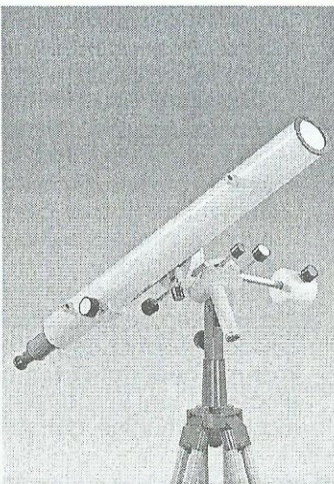
Tipul de instrument	Observație	Cea mai bună imagine
Refractor vizual	vizuală	în domeniul spectral verde
Refractor fotografic	fotografică	în domeniul spectral albastru

Din cauza dificultăților tehnice de producere a lentilelor optice de mari dimensiuni, ca și datorită dificultății realizării unui sistem de fixare a lor în obiectivul telescopului, refractoarele sunt construite cu o deschidere a obiectivului de maxim 1,02 m.

- Cel mai mare refractor vizual se află la Yerkes Observatorium din Williams Bay, Wisconsin, S.U.A. (deschidere a obiectivului 1,02 m).

- Cel mai mare refractor fotografic se află în dotarea Institutului Astrofizic din Postdam (deschiderea obiectivului 0,8 m; lungimea tubului $\approx$ distanța focală a obiectivului = 12 m).

- Luneta este un mic refractor vizual, în care traiectoria de lumină este de mai multe ori modificată cu ajutorul prismelor. Prin aceasta, lunetele au o lungime foarte mică și produc, în comparație cu telescopul astronomic, imagini verticale. Ele sunt construite mai ales sub formă de binoculi.

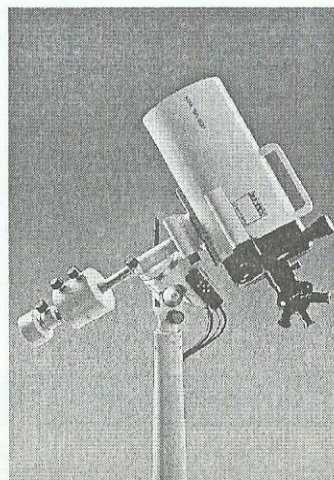


Refractorul

Reflectorul (telescopul cu oglindă)

La reflector, obiectivul este o oglindă concavă (calotă sferică sau paraboloid). Reflectoarele pot avea dimensiuni mult mai mari decât refractoarele.

- Cele mai mari reflectoare construite dintr-un singur bloc de sticlă se află la Observatorul Astrofizic Special Selentschuk-skaja, din Caucaz, Federația Rusă (diametrul obiectivului 6 m, distanța focală 24 m) și la Hale Observatorium, de pe Muntele Palomar, S.U.A. (diametrul obiectivului 5,08 m).



Reflectorul

Reflectoarele sunt construite în diverse variante. Ele diferă și prin modul cum este dirijată lumina reflectată de oglinda principală în afara tubului (p. 15).

- La *telescopul Schmidt* (oglină Schmidt), care se distinge printr-o înaltă calitate a imaginii asupra unui larg câmp de observație, razele de lumină străbat, înainte de reflexia pe oglinda principală, o placă de corecție cu formă complicată. Telescopul Schmidt este indicat pentru observații fotografice.

- Cel mai mare telescop Schmidt din emisfera nordică se află în dotarea observatorului astronomic din Tautenburg (Turingia), lângă orașul Jena (diametrul oglinzii principale 2 m, diametrul plăcii de corecție 1,34 m, distanța focală 4 m).

Refractor	Reflector
Lentilele obiectivului trebuie prelucrate pe ambele părți (șlefuite și lustruite).	Oglinda nu trebuie prelucrată decât pe o parte.
Lentilele obiectivului nu trebuie să fie tensionate și nu trebuie să prezinte strikții.	Oglinda trebuie doar să aibă o suprafață optică ireproșabilă.
Lentilele obiectivului nu pot fi prinse de tubulatură decât pe margine; de aceea, ele se deformează ușor.	Spatele oglinzii poate fi sprijinit pe toată suprafața în montura oglinzii, astfel încât deformările sunt foarte rare.

Telescopul lui Newton	
Cu ajutorul unei oglinzi auxiliare, lumina este dirijată în lateral, în afara tubului.	
Telescopul lui Cassegrain	
Cu ajutorul unei oglinzi hiperbolice auxiliare, lumina este dirijată prin oglinda principală, care este perforată, în afara tubului.	
Telescopul Schmidt	
Lumina nu este dirijată în afara tubului.	

Telescopul cu oglinzi multiple. Alăturarea mai multor oglinzi principale cu focar comun într-un sistem optic dă posibilitatea de a se realiza, într-un mod fezabil din punct de vedere economic, o mare suprafață de recepție. Oglinzile individuale și oglinzile auxiliare corespondente sunt comandate de computer; poziția lor, unele în raport cu altele, este controlată prin raze laser.

- Primul telescop cu oglinzi multiple se află pe Muntele Hopkins (Arizona, S.U.A.). Șase oglinzi a câte 1,8 m diametru formează un ansamblu cu aceeași putere ca a unui telescop cu o oglindă de 4,8 m diametru.

↗ Noi tehnici optice de observație, p. 177.

Coronograful. Coroana și protuberanțele solare pot fi observate și fotografiate cu un telescop construit special, denumit coronograf. Cel mai important element constructiv al său este diafragma, care, interpunându-se în calea razelor de lumină, produce o „eclipsă artificială” de Soare.

Mărirea. Unghiul vizual al unui obiect este, la observarea cu un telescop, mai mare decât la observarea cu ochiul liber.

Mărirea $N = \frac{f_1}{f_2}$	f_1 = distanța focală a obiectivului f_2 = distanța focală a ocularului
-------------------------------	--

- Observatoarele școlare: $f_1 = 840$ mm

f_2	N
40 mm	21
25 mm	34
16 mm	53
10 mm	84

La observația fotografică, un obiect este redat în planul focal cu atât mai mare, cu cât este mai mare distanța focală a obiectivului.

Telescop	f_1	Diametrul imaginii unui obiect (mărirea unghiului vizual de 1°)
Observator școlar	840 mm	1,47 cm
Telescop cu oglindă de 2 m diametru	4 m	7 cm
Telescop cu oglindă de 6 m diametru	24 m	42 cm

Rezoluția

Cea mai mică distanță unghiulară dintre două surse punctiforme de lumină care, cu ajutorul unui telescop, pot fi încă percepute separat. Este dependentă de diametrul obiectivului și de lungimea de undă a radiației observate.

Telescop	Diametrul obiectivului	Rezoluția	
		teoretică	practică
Telescop școlar (didactic)	63 mm	1,8"	2"
Telescop cu oglindă cu diametrul de 2 m	2 m	0,06"	0,5"
Telescop cu oglindă cu diametrul de 6 m	6 m	0,02"	0,5"

- Ochul liber are o rezoluție teoretică de 1'. În practică, printre altele din cauza impurității aerului, nu poate fi atinsă rezoluția teoretică.

Intensitatea luminii. La observarea stelelor și a altor surse de lumină punctiforme, intensitatea luminii este dependentă de diametrul obiectivului, iar la observarea obiectelor cu o suprafață mare (comete, nebuloase), dimpotrivă, aceasta este dependentă de deschiderea relativă $D : f_1$ (D = diametrul obiectivului; f_1 = distanța focală a obiectivului).

- **Măginitudinea – limită** a obiectelor observate cu telescoape de diferite mărimi

Diametrul obiectivului	Măginitudinea-limită		Sensibilitatea în comparație cu ochiul liber
	vizuală	fotografică (iluminare 100 min.)	
Ochiul liber (6...8 mm)	6 ^m	---	1
5 cm	10,3 ^m	13 ^m	600
10 cm	11,7 ^m	14,5 ^m	2 500
20 cm	13 ^m	16 ^m	10 000
40 cm	14,1 ^m	17,5 ^m	40 000
100 cm	---	19,5 ^m	250 000
500 cm	---	23 ^m	6 300 000

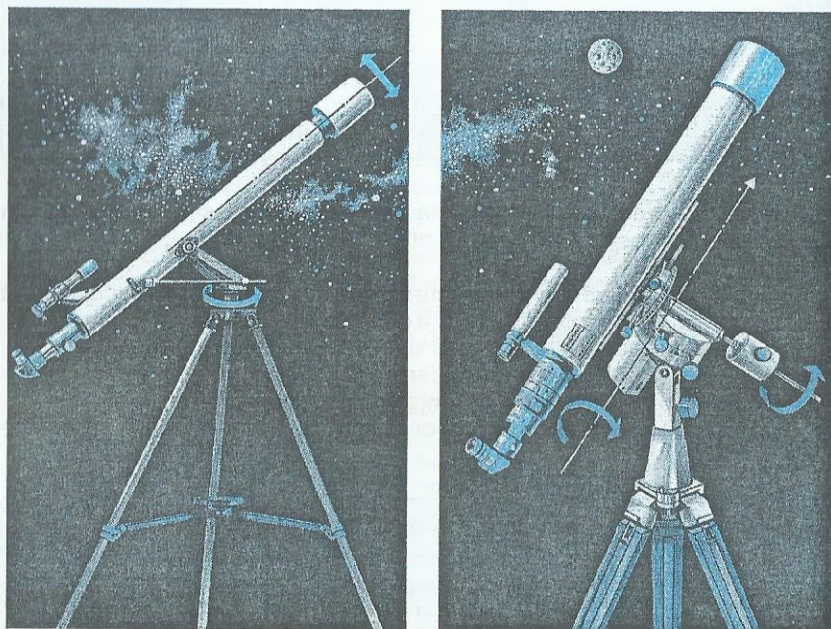
- ↗ Măginitudinea, p. 107.

Montarea unui telescop (partea compusă din suport și un sistem mobil de axe)

Montarea trebuie să asigure sistemului optic:

- protecția față de vibrații în oricare dintre direcțiile alese pentru observație;
 - în același timp, sistemul optic trebuie să poată urmări mișcările stelelor.
- La telescoapele mici, suportul este adeseori un stativ transportabil, pe când la cele mari se prezintă sub forma unei coloane imobile.

Sistemul de axe prezintă de regulă două axe care pot fi montate ca *sisteme azimutale* sau ca *sisteme paralactice* (ecuatoriale).



Montarea telescopului: a) Montare azimutală b) Montare paralactică

	Montare azimutală	Montare paralactică
axa fixă	axa verticală	axa orară
îndreptat spre	zenit	polul nord ceresc
prin rotația în jurul axei fixe se schimbă	azimutul	unghiul orar
axa mobilă	axa basculantă	axa declinației
îndreptată spre un punct al	orizontului	ecuatorului ceresc
la mișcarea în jurul axei mobile se schimbă	înălțimea	declinația

avantaje	construcție simplă	transport simplu prin mișcare uniformă în jurul unei singure axe (axa orară)
dezavantaje	transport complicat prin mișcarea neuniformă în jurul celor două axe, de aici rotații ale câmpului vizual	construcție complicată, încărcarea axelor și lagărelor dependente de poziție
utilizare	la telescoapele didactice și de amatori, la marile telescoape de cercetare (cu control computerizat)	la cele mai multe telescoape mijlocii și mari

- ♣ Poli cerești, p. 26;
- ♣ Ecuatorul ceresc, p. 26;
- ♣ Mișcarea zilnică a stelelor, p. 29;
- ♣ Coordonate orizontale, p. 41;
- ♣ Coordonate ecuatoriale, p. 43.

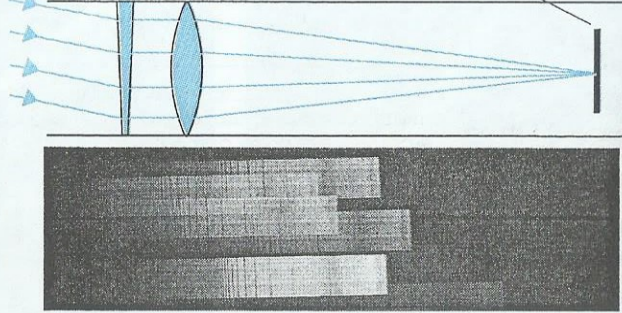
Coelostatul. În unele cazuri (ex. observații asupra Soarelui), sistemul telescopic este fix. Radiația ce trebuie studiată este condusă în interior de un sistem de oglinzi plasate înaintea tubului.

■ Telescoapele-torn pentru observarea Soarelui sunt de cele mai multe ori dotate cu un tub vertical, în care lumina este reflectată de sus în jos cu ajutorul unui coelostat.

Aparatele auxiliare telescoapelor optice

Aparate ce sunt interpușe în drumul razelor, înainte, în interiorul sau după un telescop optic și care favorizează o cercetare mai intensă și mai precisă a luminii.

Micrometrul	Aparat pentru măsurarea exactă a distanței unghiulare și a unghiului de poziție a două stele. Pentru observația vizuală este combinat de cele mai multe ori cu ocularul unui telescop.
Fotometrul	Aparat pentru măsurarea strălucirii aparente a unui obiect. La lunete se folosesc aproape în exclusivitate fotometre fotoelectrice. Aceste aparate lucrează pe baza efectului fotoelectric și produc un curent electric, a cărui intensitate depinde de intensitatea radiației receptate. Precizia maximă: mai bună de 0,01 clase de mărime.

Spectrograful	Aparat pentru descompunerea radiației într-un spectru și pentru redarea fotografică sau fotoelectrică a acestui spectru. Elementul care descompune lumina este de cele mai multe ori o rețea de difracție.
Prisma obiectivului	Prisma obiectivului Obiectiv Placă fotografică  Prismă triunghiulară de sticlă, cu un unghi de refracție foarte mic, așezată în fața obiectivului unui telescop optic (imaginea de sus). La observația fotografică, pe placa fotografică iau naștere, în locul imaginilor circulare ale stelelor, mici spectre care, spre exemplu, fac posibilă ordonarea stelelor în funcție de anumite clase spectrale (imaginea de jos).
Amplificator de imagine	Aparat care transformă imaginea optică prin efect fotoelectric într-o imagine optoelectrică cu o luminanță de până la de 100 de ori mai mare; această imagine poate fi înregistrată pe cale fotografică.

Aparate de decodificare

Aparate utilizate pentru comprimarea și decodificarea rezultatelor observațiilor. De cele mai multe ori, informația transmisă prin imagini este transformată în valori numerice. Aparatele moderne de decodificare permit conectarea la aparatura de prelucrare electronică a datelor și oferă datele într-o formă corespunzătoare (pe bandă magnetică, pe dischetă etc.).

Microfotometrul	Aparat pentru măsurarea înregistrării de pe placa fotografică, de cele mai multe ori construit ca fotometru fotoelectric.	Microfotometrul și aparatul de măsurare a coordonatelor pot alcătui un singur aparat.
Aparatul de măsurare a coordonatelor	Aparat pentru măsurarea coordonatelor stelelor pe înregistrările fotografice ale bolții cerești. Elementele constitutive esențiale sunt două rigle pentru măsurători de precizie, dispuse perpendicular una față de cealaltă, care, prin folosirea unui microscop de măsurare, permit determinarea exactă a poziției stelelor pe o înregistrare, cu o precizie de până la 0,0002 mm.	

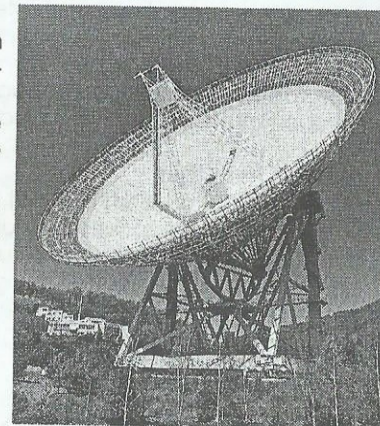
Comparatorul	Aparat cu care pot fi comparate înregistrări fotografice ale aceleiași porțiuni din bolta cerească, luate la diferite momente de timp. Prin examinarea stereoscopică sau alternativă a plăcilor fotografice pot fi descoperite atât obiecte care au pe înregistrări diferite luminanță sau diferite poziții, cât și obiecte care s-au adăugat pe imaginile ulterioare.
--------------	--

Radiotelescoapele

Instrumente pentru captarea din spațiu a undelor radio – unde electromagnetice hertziene.

Atmosfera terestră ecranează undele cu o lungime sub aprox. 1 mm și de peste 20 m.

Un radiotelescop este alcătuit dintr-o antenă (reflector și dipol, sistem-dipol), un amplificator și un aparat de înregistrare.



Radiotelescopul de 100 m din Effelsberg

Reflectoarele parabolice. Un paraboloid construit din metal sau din plasă metalică concentrează radiația captată, întocmai ca o oglindă concavă, pe o antenă (dipol), aflată în focarul său. Datorită lungimilor de undă foarte mari în comparație cu cea a luminii, rezoluția este foarte redusă, chiar și la diametre mari ale reflectorului.

- Cel mai mare reflector mobil se găsește la Effelsberg /Eifel (Renania de Nord – Westfalia). Diametrul său măsoară 100 m, rezoluția sa este de 8'' (pentru $\lambda = 20$ cm).
 - Cel mai mare reflector static cu suprafață continuă are un diametru de 305 m. El se găsește la Arecibo (Puerto Rico).
- Telescopul optic, p. 12; ➤ Reflectorul, p. 14.

Sisteme de antene individuale. Prin conectarea electronică a mai multor antene individuale, puterea de rezoluție a instalațiilor de observare radioastronomică se îmbunătățește considerabil. Aceste sisteme folosesc fenomenele de interferență ale undelor radio captate. Asemenea instalații poartă numele de *interferometre radio*.

- Prin cuplarea computerizată a unor radiotelescoape aflate la o distanță de mai multe mii de km unul de altul, devin posibile observații cu rezoluții de până la 0,0002''.

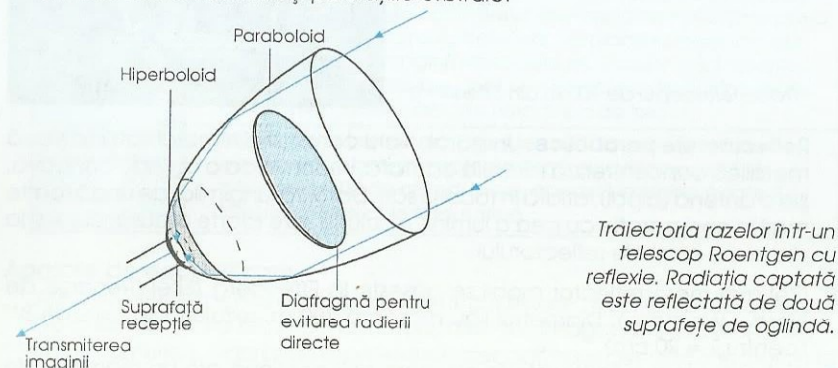
➤ Radioastronomia, p. 178.

Telescopul în infraroșu

Instrument de observare folosit pentru cercetarea radiației infraroșii (radiație electromagnetică cu lungimea de undă între 0,001 mm și 1 mm) emise de corpurile cerești. Atmosfera terestră este permeabilă pentru astfel de radiații doar în domenii înguste de lungimi de undă, de aceea telescoapele în infraroșu sunt instalate pe munți foarte înalți, în avioane, în baloane stratosferice sau pe sateliți artificiali și stații orbitale. Radiația este pusă în evidență cu ajutorul fotoelementelor sau elementelor fotorezistente răcite până la temperaturi foarte coborâte; răcirea (până la câteva grade K) este necesară pentru a crește sensibilitatea detectorilor și pentru a elimina perturbațiile produse de propagarea căldurii purtătorilor de sarcină în componentele de recepție a radiației.

Telescopul Roentgen

Instrument de observare folosit pentru cercetarea radiației Roentgen (radiație electromagnetică cu lungimea de undă între 0,01 nm și 10 nm), emise de obiectele cosmice. Întrucât radiația Roentgen nu poate traversa atmosfera terestră, telescoapele Roentgen trebuie instalate pe sateliți artificiali ai Pământului și pe stațiile orbitale.



Telescop Roentgen fără reflexie	Aparat care înregistrează direcția și intensitatea radiației Roentgen. Funcționează după principiul detectorului sau prezintă elemente constructive semiconductoare pe post de captatori de radiație.
Telescop Roentgen cu reflexie	Telescop dotat cu oglinzi speciale, care proiectează o imagine a sursei de radiație Roentgen asupra unei suprafețe de captare. În continuare, imaginea este de regulă explorată și prelucrată electronic, rezoluția atingând circa 2,5".

Telescopul spațial

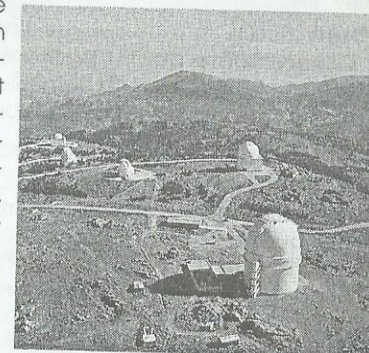
Telescop optic sau în infraroșu instalat pe navele spațiale, stații orbitale, sonde spațiale sau sateliți artificiali, în afara atmosferei.

Avantaje	Traversarea atmosferei terestre provoacă filtrarea radiației și deprecierea imaginii. Cu un telescop cu o deschidere de 2,4 m se poate atinge o rezoluție de 0,05"; obiectele până la a 29-a clasă de mărime devin observabile.
Dezavantaje	Costuri ridicate, reglare automată dificilă pe obiectele de observat.

- Primul telescop spațial este Hubble Space Telescope, pus în funcțiune în anul 1990 și având un diametru al oglinzii principale de 2,4 m.

OBSERVATOARE ASTRONOMICE**Observatoare de cercetare astronomică**

Institute de observații astronomice care servesc cercetării astronomice. În general, complexe de clădiri cu construcții sub formă de cupolă, în care sunt adăpostite telescoapele. Observatoarele de cercetare astronomică aparțin adesea unei academii sau unei universități. Ele sunt amplasate, de regulă, la mari depărtări de orașe și de zonele industriale.



Observatorul astronomic din Calar Alto

- Observatoare germane de cercetare astronomică (selecție)
 - Berlin Institutul pentru Astronomie și Astrofizică al Universității Tehnice
 - Bonn Institutul Max Planck pentru Astronomie
 - Göttingen Observatorul Universității
 - Heidelberg Observatorul landului
 - Jena Institutul de Astrofizică și Observatorul Universității
 - Potsdam Institutul de Astrofizică
- Observatoare românești de cercetare astronomică
 - București Observatorul Institutului Astronomic al Academiei Române
 - București Observatorul Militar
 - Cluj Observatorul Institutului Astronomic
 - Iași Observatorul Astronomic al Universității Al. Ioan Cuza
 - Timișoara Observatorul Institutului Astronomic

Observatoare populare

Instalații astronomice care au ca scop răspândirea cunoștințelor astronomice și susținerea observațiilor astronomice ale amatorilor. În multe observatoare populare, pe lângă popularizarea astronomiei se realizează și activități de cercetare.

Observatoare populare germane (selecție)

Aachen	Observatorul popular
Berlin	Observatorul Archenhold
Drebach	Observatorul de vacanță
Dulsburg	Observatorul Rudolf Römer
Hannover	Observatorul popular
Hof	Observatorul popular
Jena	Observatorul Urania
Schkeuditz	Centrul astronomic
Sohland (Spree)	Observatorul popular „Bruno H. Bürgel”

■ În România, există în București Observatorul Popular „Amiral Vasile Urseanu”, iar în orașele Bacău, Baia Mare, Suceava, Constanța – complexe astronomice cu planetarii.

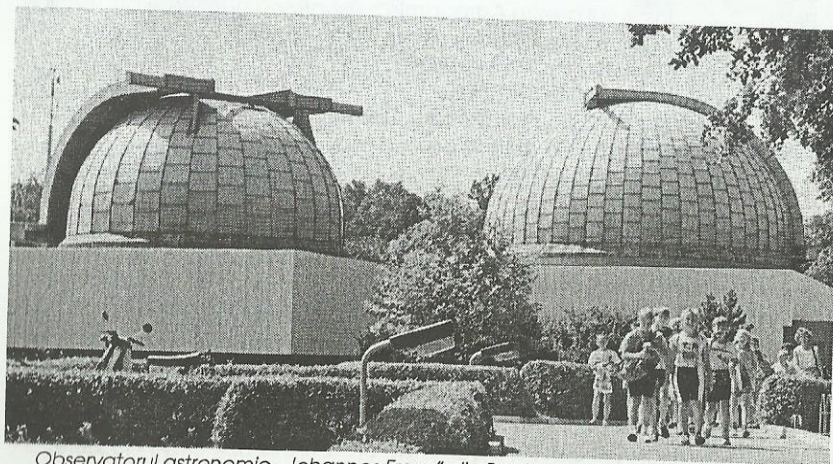
Observatoare astronomice școlare

Observatoare pentru învățământul astronomic și pentru activitatea extrașcolară a elevilor în domeniul astronomiei. Marile observatoare școlare sunt adesea în legătură cu un planetariu.

Observatoare astronomice școlare din Germania (selecție)

Bautzen	Observatorul „Johannes Franz”
Crimmitschau	Observatorul școlar
Eilenburg	Observatorul școlar și popular „Iuri Gagarin”
Görlitz	Observatorul Scultetus
Herford	Observatorul gimnaziului Friedrich

■ În România există Observatorul Astronomic al Palatului Național al Copiilor, din București.



Observatorul astronomic „Johannes Franz” din Bautzen

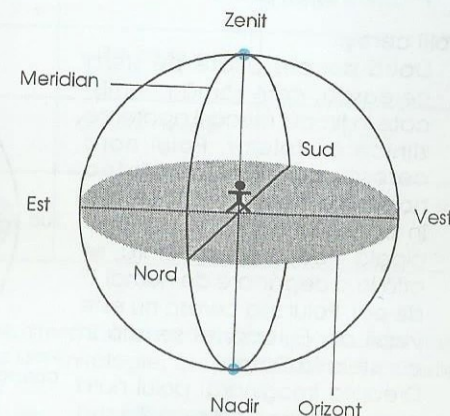
Orientarea pe bolta cerească

SFERA CEREASCĂ

Sfera cerească

Sfera aparentă care îl înconjoară din toate direcțiile pe observator, cu o rază infinit de mare și pe care se văd stelele. Ea este o reprezentare ajutătoare și folosește pentru descrierea poziției vizibile a stelelor dintr-un anumit punct de observație.

De multe ori sfera cerească este astfel reprezentată încât observatorul se găsește într-un punct fictiv, situat în afara ei.



Sfera cerească, orizontul și meridianul Zenit

Orizontul

Linia de despărțire dintre partea vizibilă a sferei cerești și cea invizibilă (de dedesubt) pentru un observator situat într-un anumit punct de observație. Planul orizontului este planul care conține punctul de observație și pe care firul de plumb stă perpendicular. Linia orizontului ia naștere prin intersecția planului orizontului cu sfera cerească.

Orizontul aparent. Linie imaginară a orizontului, independentă de limitarea privirii datorată reliefului terestru, aflată la înălțimea ochiului observatorului.

Orizontul natural. Linia vizibilă situată la demarcația dintre sfera cerească și munții, copacii, construcțiile etc. aflate în preajma observatorului. Orizontul natural are un aspect foarte neregulat.

Nadirul

Punctul de pe emisfera invizibilă a sferei cerești, situat în plan vertical, sub observator.

Zenitul

Punctul de pe sfera cerească situat în plan vertical deasupra observatorului. Zenitul este punctul de intersecție dintre linia care conține firul cu plumb și sfera cerească.

Meridianul

Pe Pământ, fiecare semicerc care trece prin ambii poli și care intersectează perpendicular ecuatorul.

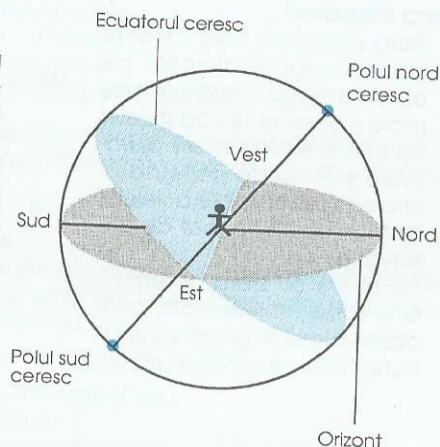
Pe sfera cerească, marele cerc ce trece prin punctul nord, zenit și punctul sud. El împarte emisfera cerească într-o jumătate estică și una vestică.

↗ Culminația, p. 31.

Polii cerești

Două puncte aflate pe sfera cerească, care rămân nemis-cate în timpul mișcării aparente zilnice a stelelor. Polul nord ceresc, situat în jumătatea nordică a sferei cerești, se află în constelația Ursa Mică; principala stea, Steaua Polară, se află la o depărtare de numai 1° de pol. Polul sud ceresc nu este vizibil din Europa; el se află în constelația Octant.

Dreapta imaginară: polul nord ceresc – observator – polul sud ceresc poartă numele de *axa lumii*. Ea este axa de rotație a mișcării zilnice aparente a stelelor.



Sfera cerească, orizontul, ecuatorul ceresc și axa lumii

Ecuatorul ceresc

Mare cerc pe sfera cerească, al cărui plan este perpendicular pe axa lumii. El împarte sfera cerească într-o jumătate nordică și o jumătate sudică. Pentru un observator din emisfera nordică a Pământului, porțiunea din ecuatorul ceresc aflată deasupra orizontului este un semicerc înclinat care trece prin punctele de est și de vest ale orizontului și înregistrează cea mai mare înălțime în sud, unde intersectează meridianul (înălțimea h a punctului de intersecție dintre ecuatorul ceresc și meridian poate fi calculată din latitudinea geografică φ a locului din care se face observația; $h = 90^\circ - \varphi$). Datorită înclinației ecuatorului ceresc față de orizont, observatorii din emisfera nordică a Pământului pot vedea și părți din emisfera cerească sudică.

Denumirea stelelor

Numele stelelor mai luminoase provin, în mare parte, din spațiul cultural arab, grec sau roman.

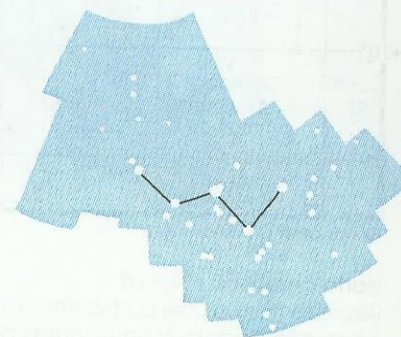
În literatura științifică, stelele, de cele mai multe ori, nu sunt desemnate cu numele istoric, ci cu o literă (grecă sau latină) sau un număr de catalog și cu prescurtarea genitivului numelui latin al constelației.

Orientarea pe bolta cerească

Stele și constelații	Originea denumirii	Semnificație	Indicativ științific
Betelgeuse (Orion)	yad al-ga'za (arab)	mâna lui Orion	α Ori
Procyon (Căinele mic)	procyon (grec.)	înainte de câine	α CMi
Atair (Vulturul)	al-tair (arab)	vultur ce se înalță în zbor	α Aql
Antares (Scorpion)	ant-ares (grec.)	contra – Marte	α Sco
Capella (Viziul)	capella (lat.)	țap	α Aur

Constelațiile

Alăturare arbitrară de stele pe sfera cerească în poligoane sau linii, desemnate cu nume provenite din mitologie, cu deosebire din culturile greacă sau babiloniană, sau cu nume fantastice. Linile ce unesc stelele unei constelații urmează în general tradițiile istorice. În știință, constelațiile sau liniile de unire sunt definite ca domenii strict delimitate. În total, pe bolta cerească există 88 de constelații.



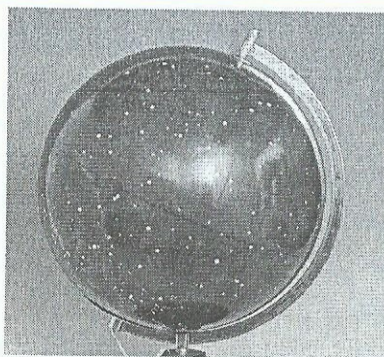
Constelația Căsiopăea. Cunoscuta figură în formă de W este o parte a unui domeniu omonim substanțial mai mare de pe bolta cerească.

Stelele reunite într-o constelație nu formează, în general, din punct de vedere fizic, un tot unitar.

Câteva constelații cunoscute		
Numele latin	Numele german	Prescurtare
Andromeda	Andromeda	And
Auriga	Fuhrmann	Aur
Canis Minor	Kleiner Hund	CMi
Orion	Orion	Ori
Ursa Major	Großer Bär	UMa

Globul ceresc

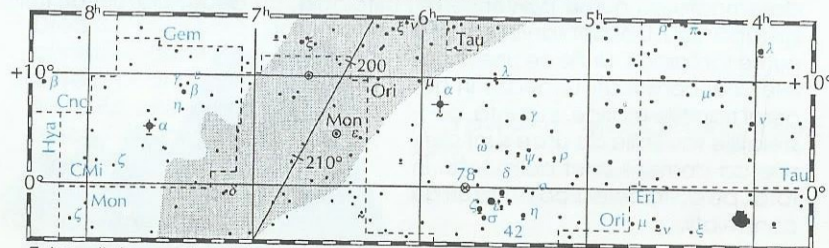
Model spațial al sferei cerești, pe care sunt reprezentate stelele, limitele și liniile de unire ale constelațiilor și de cele mai multe ori liniile de coordonate. Cele mai multe globuri cerești sunt astfel proiectate încât observatorul de fapt ar trebui să se găsească în centrul globului pentru a putea vedea bolta cerească într-o reprezentare conformă cu realitatea. Privit din exterior, constelațiile apar din această cauză inversate.



Globul ceresc

Hărțile cerești

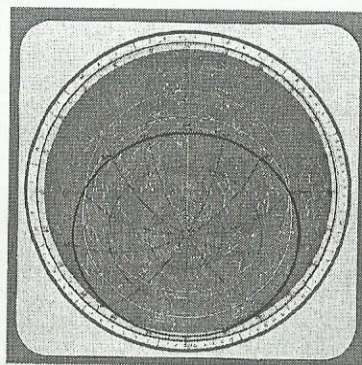
Reprezentări cartografice ale unei părți din sfera cerească pe care apar obiectele observate (stele, constelații, nebuloase, galaxii, Calea Lactee), de cele mai multe ori în rețeaua de coordonate ale sistemului ecuatorial rotativ. Soarele, Luna și planetele nu sunt cuprinse în hărțile cerești, deoarece ele își schimbă poziția în raport cu stelele.



Extras dintr-un atlas stelar

Harta cerească rotativă

Reprezentare a unei părți a sferei cerești ce se află deasupra unui anumit punct de observație, în concordanță cu tipul de observație corespunzător. Harta cerească rotativă poate fi potrivită pentru un anumit moment.



Hartă cerească rotativă

Atlasul stelar. Concentrare de hărți stelare de același tip într-un atlas, care conține corpurile cerești cu o strălucire aparentă mai intensă decât o anumită valoare, aflate fie pe întreaga sferă cerească, fie numai pe acea parte din sfera cerească vizibilă dintr-un anumit punct de observație.

Planetariul

Instalație de proiecție folosită pentru redarea cât mai fidelă a imaginii cerului, cu stelele, Calea Lactee, planetele, Soarele și Luna. Planetariul dă posibilitatea demonstrării mișcării acestor corpuri cerești în succesiuni de imagini accelerate. Imaginile corpurilor cerești sunt proiectate pe partea interioară a unei emisfere albe mate, cu diametrul de 5 – 30 m. Spectatorul se găsește în interiorul emisferei.



Planetariu

Planetarii în Germania (selecție)

Planetarii mari

Berlin
Bochum
Cottbus
Jena
Halle
Hamburg
Mannheim
München
Stuttgart

Planetarii mici

Bremen
Ellenburg
Fürstenfeldbruck
Fulda
Glücksburg
Herzberg (E)
Kiel
Laupheim
Magdeburg
Nordhausen
Nürnberg

Osnabrück
Potsdam
Radebeul
Recklinghausen
Reutlingen
Rodewisch
Rostock
Schkeuditz
Schneeberg
Suhl
Wolfsburg

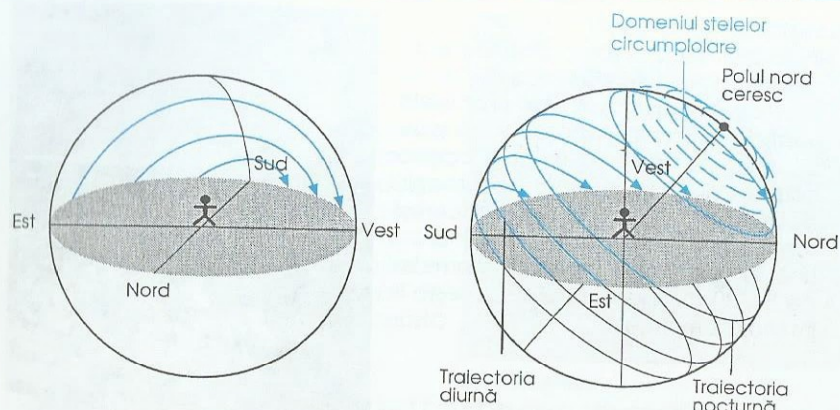
MIȘCĂRILE APARENTE ALE STELELOR

Mișcarea zilnică a stelelor

Reflecție a rotației Pământului; rotație aparentă a sferei cerești în jurul axei lumii de la est, prin sud, spre vest. O rotație a sferei cerești durează o zi siderală.

↗ Definiția astronomică a timpului, p. 35. ↗ Timpul sideral, p. 38.

Răsăritul, apusul. Apariția, respectiv dispariția unei stele la orizontul aparent ca urmare a mișcării zilnice aparente a stelelor.



Traectoria diurnă a trei stele, din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ

Traectoria diurnă și nocturnă a diferitelor stele, din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

Stelele circumpolare. Stelele care, din cauza faptului că sunt atât de apropiate de poli sferei cerești, nu mai ating orizontul în timpul mișcării lor diurne. Mărimea domeniului stelelor circumpolare depinde de înălțimea polului ceresc deasupra orizontului observatorului și, prin aceasta, de latitudinea geografică a punctului din care se face observația.

Înălțimea polului = latitudinea geografică

Pentru un punct de observație situat la latitudinea geografică φ , toate stelele a căror depărtare de pol este mai mică decât φ sunt stele circumpolare.

Locul în care se găsește observatorul	Stelele circumpolare în jurul	
	polului nord ceresc	polului sud ceresc
Emisfera nordică a Pământului ■ Berlin	nu apun niciodată, sunt vizibile în fiecare noapte senină ■ Ursa mică	nu răsar niciodată, rămân întotdeauna invizibile ■ Crucea Sudului
Emisfera sudică a Pământului ■ Melbourne	nu răsar niciodată, sunt întotdeauna invizibile ■ Ursa mică	nu apun niciodată, sunt vizibile în fiecare noapte senină ■ Crucea Sudului

- Pentru observatorul aflat la ecuator, unde latitudinea geografică este de 0° , nu există stele circumpolare.

Traectoria diurnă. Porțiunea din traiectoria unei stele care, ca urmare a mișcării zilnice aparente, traversează regiunea din sfera cerească aflată deasupra orizontului; este redată de regulă în mărimi unghiulare.

- Stelele circumpolare vizibile dintr-un punct de observație au traiectoria diurnă de 360° .

Culminația

Trecerea unei stele în mișcarea sa zilnică peste meridianul locului.

Culminația superioară	Culminația inferioară
Steaua traversează meridianul între polul nord ceresc și punctul sud al orizontului; atinge cea mai mare înălțime a sa deasupra orizontului.	Steaua traversează meridianul sub polul nord ceresc (observabil doar la stelele circumpolare).

Culminația superioară a Soarelui: miezul zilei, 12^h timp solar real.
Culminația inferioară a Soarelui: miezul nopții, 0^h timp solar real.

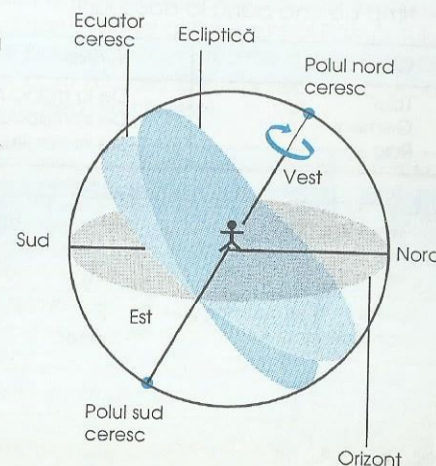
↗ Meridian, p. 26. ↗ Coordonate orizontale, p. 41.

Ecliptica

Termenul este folosit cu două semnificații:

- Traectoria anuală aparentă a Soarelui prin constelațiile zodiacului, linia de intersecție dintre planul orbitei Pământului și sfera cerească; cel mai mare cerc de pe sfera cerească; planul său este înclinat cu $23,4^\circ$ față de ecuatorul ceresc. Ecliptica intersectează ecuatorul ceresc în punctul vernal și punctul autumnal.

Sfera cerească, orizont, ecuator ceresc și ecliptică. Mișcarea zilnică are loc în jurul axei lumii.



- Orbita reală a Pământului în spațiu; o elipsă care are într-unul dintre focare Soarele.

↗ Ecuator ceresc, p. 26. ↗ Punct vernal, p. 33.

Înclinația eclipticii. Desemnare uzuală a înclinației planului eclipticii față de planul ecuatorului ceresc.

Zodiacul. Zonă situată de o parte și de alta a eclipticii; ea conține semne zodiacale purtând, în mare majoritate, nume de animale. Ecliptica se numește, de aceea, și *linie zodiacală*.

Semnele zodiacale. În astrologia antică, ecliptica a fost împărțită în 12 sectoare de aceeași lungime. Aceste sectoare erau numite semne zodiacale. Datorită precesiei, semnele zodiacale nu mai sunt în concordanță cu constelațiile corespondente lor.

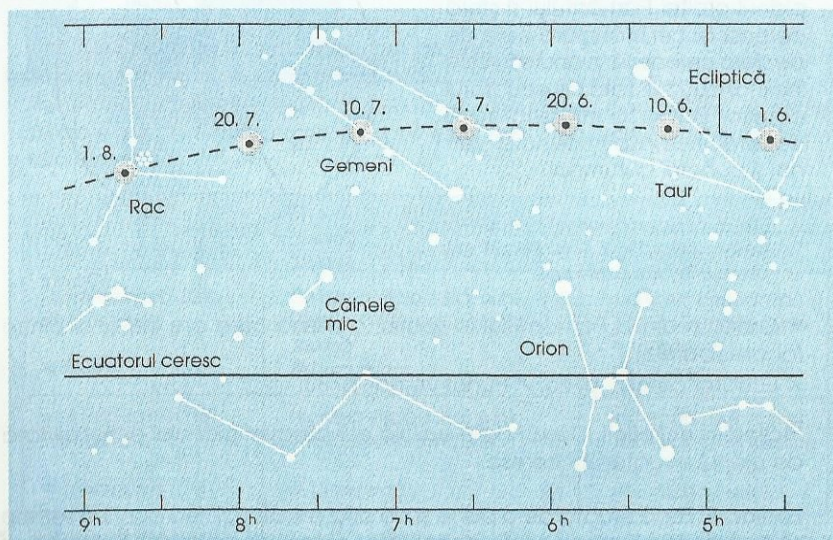
Constelație	Simbol	Semnul este traversat de Soare		Semnul se găsește astăzi în constelația
Taur	♉	de la 21.04	până la 21.05	Berbec
Gemeni	♊	de la 22.05	până la 22.06	Taur
Rac	♋	de la 23.06	până la 23.07	Gemeni

↗ Precesia, p. 33. ↗ Apariția astrologiei, p. 166.

Mișcarea anuală a Soarelui

Mișcarea aparentă a Soarelui în raport cu stelele, în timpul căreia Soarele, de-a lungul unui an, traversează toate constelațiile zodiacului. Reflecție a mișcării reale de rotație a Pământului în jurul Soarelui. Constelațiile care se află în direcția Soarelui sunt invizibile pentru un observator de pe Pământ timp de una până la două luni.

Constelație	Invizibilă
Taur	De la mijlocul lui mai până la sfârșitul lui iunie
Gemeni	De la mijlocul lui iunie până la începutul lui august
Rac	De la sfârșitul lui iunie până la sfârșitul lui august



↗ Calendar, p. 39. ↗ Ecliptica, p. 31.

Punctul vernal

Punctul de intersecție dintre ecuatorul ceresc și ecliptică în care Soarele, în timpul mișcării sale anuale, trece la 21.03 (în unii ani la 20.03 sau 22.03) din emisfera sudică în emisfera nordică a sferei cerești.

Simbol: ♈

Punctul vernal se afla odată în constelația Berbecului. Datorită precesiei, el se află astăzi în constelația Vărsătorului.

↗ Precesia, p. 33.

Punctul autumnal

Intersecția dintre ecuatorul ceresc și ecliptică, când Soarele trece, la 23.09., din emisfera nordică în emisfera sudică.

Simbol: ♏

↗ Ecuatorul ceresc, p. 26. ↗ Ecliptica, p. 31.

Precesia

Mișcare giroscopică – respectiv oscilantă a axei Pământului, datorată în special atracției exercitate de Lună și de Soare asupra proeminenței ecuatoriale a planetelor noastre. Axa Pământului descrie, în jurul axei unui titirez, suprafața unui con dublu, al cărui vârf se află în centrul Pământului și a cărui axă este îndreptată spre polul ecliptic. O rotație a axei terestre pe suprafața conului durează circa 25 700 ani. Deplasarea ecuatorului ceresc se află în legătură cu deplasarea axei terestre.

Urmările precesiei	Evenimente ce survin în decursul unor perioade de timp mai lungi
Deplasarea polilor cerești față de stele	■ „Steaua polară” este în anul 2000 steaua α din Ursa Mică, în anul 9000 steaua Deneb din Lebăda, iar în anul 13000 Steaua Vega din Lira.
Deplasarea punctului vernal și a punctului autumnal pe ecliptică	Modificarea coordonatelor stelare în sistemele de coordonate ale ecuatorului și ale eclipticii.
	Deplasarea semnelor zodiacale în raport cu constelațiile zodiacale.

■ Modificarea coordonatelor stelei Betelgeuse din Orion în decursul a 30 de ani

Data	Ascensia dreaptă	Declinația
01.01.1950	5 ^h 52 ^m 28 ^s	+7°23'58"
01.01.1980	5 ^h 54 ^m 05 ^s	+7°24'16"

↗ Coordonate ecuatoriale, p. 44.

↗ Coordonate ecliptice, p. 45.

Anotimpurile

Perioade ale anului caracterizate prin poziția reciproc schimbătoare a Pământului și a Soarelui. Apariția diferențierilor climatice de la un anotimp la altul este urmarea înclinării axei Pământului față de verticală în raport cu planul orbitei terestre, în timpul rotației Pământului în jurul Soarelui. Primăvara astronomică începe pentru emisfera nordică a Pământului atunci când Soarele, în mișcarea sa aparentă anuală, trece prin punctul vernal; când Soarele se găsește în nord la cea mai mare distanță față de ecuatorul ceresc, începe vara astronomică.

Toamna debutează prin trecerea Soarelui prin punctul autumnal, iar iarna prin trecerea prin acel punct de pe orbită situat la cea mai mare depărtare sudică față de ecuatorul ceresc.

În ceea ce privește definirea astronomică a anotimpurilor, este vorba despre mărimi matematice (de calcul) de care evenimentele meteorologice sunt doar tangențial influențate.

Ziua	Poziția Pământului	Razele Soarelui întâlnesc suprafața Pământului	Durata cât Soarele se află deasupra orizontului	Încălzirea suprafeței terestre	Anotimpul
22.06.	Emisfera nordică îndreptată spre Soare	perpendicular	mare	puternică	vară
	Emisfera sudică este opusă Soarelui	orizantal	mică	redușă	iarnă
23.09	Emisfera nordică	razele soarelui întâlnesc suprafața sub același unghi	înclinare medie	medie	medie
	Emisfera sudică		înclinare medie	medie	medie
22.12.	Emisfera nordică opusă Soarelui	orizantal	mică	redușă	iarnă
	Emisfera sudică îndreptată spre Soare	perpendicular	mare	puternică	vară
21.03.	Emisfera nordică	razele Soarelui întâlnesc sub același unghi suprafața terestră	înclinare medie	medie	medie
	Emisfera sudică		înclinare medie	medie	medie

Durata anotimpurilor. Din cauza vitezei diferite pe care o are Pământul în timpul rotației sale în jurul Soarelui, anotimpurile nu au aceeași durată.

Anotimp	Durata în emisfera nordică	Anotimp	Durata în emisfera nordică
Primăvară Vară	92 zile și 22 h 93 zile și 14 h	Toamnă Iarnă	89 zile și 17 h 89 zile și 1 h

Ziua polară, noaptea polară. Când polul nord terestru este îndreptat către Soare, în timpul rotației Pământului, acesta rămâne permanent în lumina solară. Pentru un observator aflat la polul nord terestru, soarele nu apune în acest timp, acolo stăpânind ziua polară.

În mod corespunzător, în același timp, la polul sud terestru domnește noaptea polară. Ziua și noaptea polară, care au o durată diferită, dependentă de latitudinea geografică a punctului din care se efectuează observația, pot fi observate în toate punctele aflate între $66,6^\circ$ și 90° latitudine nordică, respectiv sudică.

TIMPUL**Definiția astronomică a timpului**

Împărțirea timpului prin procese ce se derulează periodic, observabile pe sfera cerească. Cea mai evidentă unitate de timp este ziua, definită ca fiind durată unei rotații a Pământului în jurul axei sale, raportată la traversarea meridianului sau a punctului vernal de către Soare. Pământul se rotește în fiecare zi siderală cu 360° , într-o oră cu 15° , într-un minut cu $0,25^\circ$.

↗ Timpul sideral, p. 38. ↗ Timpul solar, p. 35.

Definiția fizică a timpului

Stabilirea unității de timp printr-un proces care se derulează periodic și care este observabil cu mijloace fizice. Aceasta este necesară întrucât rotația Pământului nu decurge pe deplin uniform.

Secunda este durată a 9 192 631 770 de perioade care corespund tranziției între două nivele de energie hiperfine ale stării fundamentale a atomului de cesiu 133.

Secunda de legătură

Corectură care face posibilă egalarea timpului fizic (prin ceasuri atomice) cu timpul astronomic. La nevoie, ea este introdusă sau eliminată la 30 iunie sau 31 decembrie, atunci când diferența dintre cele două timpuri depășește 0,7 secunde.

Timpul solar

Împărțire a timpului datorată mișcării zilnice aparente a Soarelui pe sfera cerească.

Timpul solar real. Măsură temporală neuniformă care se calculează prin observații nemijlocite asupra Soarelui. Perioada de timp dintre două culminații inferioare ale Soarelui reprezintă ziua solară reală. Durata sa nu este constantă întrucât Soarele se deplasează, în mișcarea sa anuală aparentă pe bolta cerească, cu viteză diferită pe o orbită înclinată către ecuatorul ceresc, numită ecliptică. Timpul solar real poate fi citit pe ceasurile solare.

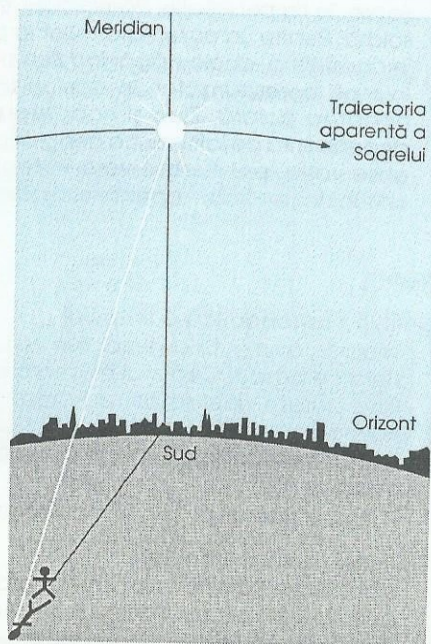
↗ Culminația, p. 31. ↗ Legile lui Kepler, p. 54.
↗ Ecuția timpului, p. 37. ↗ Ecliptica, p. 31.

Timpul solar mediu. Măsură a timpului aproape uniformă, calculată în funcție de un Soare mediu virtual.

Mișcarea anuală aparentă a Soarelui mediu are loc:

- în lungul ecuatorului ceresc;
- în același timp cu Soarele real;
- cu o viteză uniformă.

O rotație a Pământului raportată la Soarele mediu durează o zi solară medie.



Culminația superioară a Soarelui real. Pentru observator este 12^h după timpul solar real

Cauze ale variației timpului solar mediu
Frecarea dintre uscat și mare la flux și la reflux
Deplasarea maselor în interiorul Pământului
Deplasarea maselor de aer și topirea gheții de la poliți terestri în ritmul anotimpurilor
Modificări ale poziției axei de rotație în interiorul Pământului

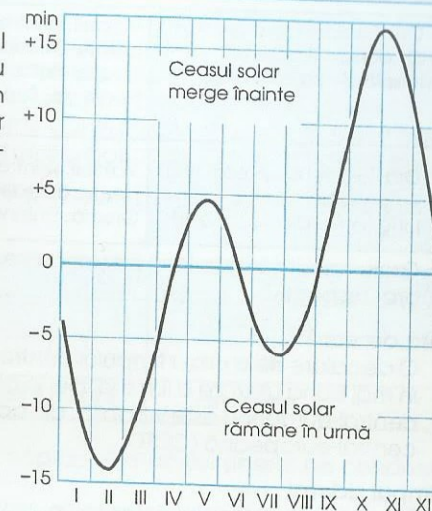
Timpul solar mediu și timpul solar real diferă în cursul unui an cu până la 16 minute.

↗ Ecuția timpului, p. 37.

Ecuția timpului

Diferența dintre timpul solar real și timpul solar mediu. Ea arată cu cât merge înainte sau rămâne în urmă un ceas solar (timpul solar real) față de un ceas care măsoară timpul solar mediu.

Curba ecuației timpului

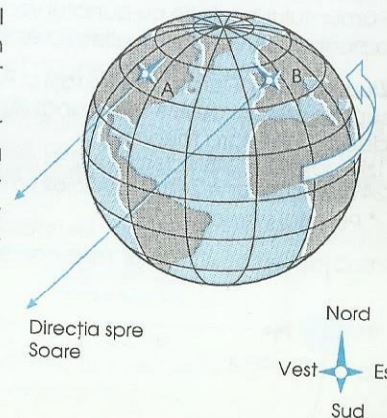


Timpul local

Indicația de timp relativă la punctul observației. Meridianul locului din care se face observația trece drept linie de referință.

Timpul solar real și timpul solar mijlociu sunt timpuri locale. Două ceasuri aflate pe longitudini geografice diferite arată timpuri diferite pentru că, pentru ambele puncte, soarele mijlociu, respectiv soarele real culminează în momente diferite. Timpul sideral este, de asemenea, un timp local.

↗ Timpul sideral, p. 38.



Pentru observatorul A Soarele culminează, pentru observatorul B este miezul zilei.

Timpul legal

Timpul normal, valabil prin convenții internaționale pentru un teritoriu mai întins (fus orar), de cele mai multe ori timpul local pentru puncte aflate în apropierea meridianului mijlociu al fusului orar.

Ora Europei de Vest (GMT) Timpul local pentru longitudinea geografică de 0°	Valabil, printre altele, pentru Irlanda, Portugalia, Marea Britanie	12 ^h CET = 11 ^h GMT CET = GMT + 1h
--	---	---

Ora Europei Centrale (CET) Timpul local pentru longitudinea estică de 15°	Valabil, printre altele, pentru Germania, Austria, Elveția, Italia, Danemarca, Norvegia, Suedia	
Ora Europei de Răsărit (EET) Timpul local pentru longitudinea estică de 30°	Valabil, printre altele, pentru Bulgaria, România, Grecia, Finlanda	12 ^h CET = 13 ^h EET CET = EET - 1h

Orele folosite în interiorul fuselor orare nu corespund întotdeauna cu fusul orar respectiv.

2

Ora de vară

O decalare de o oră a timpului pentru lunile de vară. Avantajul său constă în mai buna utilizare a luminei zilei în orele de seară. În majoritatea statelor central-europene este valabilă, din aprilie până în septembrie, ora de vară central-europeană (CEST).

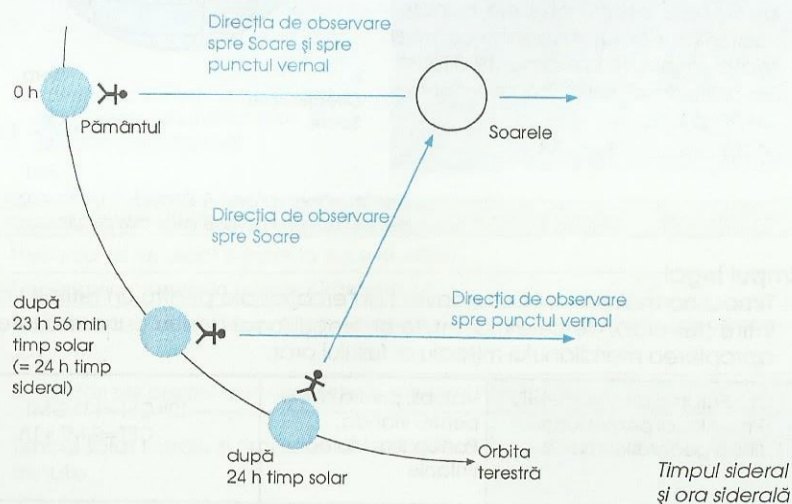
Timpul sideral

Împărțire a timpului folosită în astronomie, determinată de rotația Pământului în relație cu punctul vernal. În momentul culminației superioare a punctului vernal, ora siderală este 0^h.

Ziua siderală. Durata unei rotații a Pământului, în relație cu două culminații superioare succesive ale punctului vernal. O zi siderală este mai scurtă decât o zi solară mijlocie.

1 zi siderală = 24 h siderale = 23 h 56 min 4,1 s timp solar;
24 h timp solar = 24 h 3 min 56,6 s timp sideral.

↗ Punctul vernal, p. 33.



Calendarul

Diviziune a timpului rezultată prin adunarea a unei mulțimi de zile solare. Baza sa este fie timpul de rotație a Pământului în jurul Soarelui (calendar solar), fie timpul de rotație a Lunii în jurul Pământului (calendar lunar). Unitățile de timp naturale astronomice, luna și anul, nu sunt multipli întregi de zile solare, de aici existența mai multor posibilități de împărțire a timpului.

Anul. Perioadă de timp necesară Pământului pentru a efectua o rotație în jurul Soarelui.

Rotația Pământului		
Punctul de referință	Durata	Denumirea
punctul vernal	365 zile 5h 48 min 46 s	an tropic
o anumită stea	365 zile 6h 9 min 9 s	an sideral

2

Diferența dintre lungimea anului tropical și a anului sideral ne conduce înapoi la precesie.

↗ Punctul vernal, p. 33. ↗ Precesia, p. 33.

Anul comun. An calendaristic de 365 zile. Este cu circa 6 ore (un sfert de zi) mai scurt decât anul definit din punct de vedere astronomic.

Anul bisect. An calendaristic de 366 de zile care, o dată la patru ani, ia locul unui an comun. Prin adăugarea unei zile (29 februarie), se elimină decalajul dintre lungimea anului calendaristic și lungimea anului astronomic.

Calendarul iulian. Precursor al calendarului gregorian, a fost introdus în anul 46 î. Hr. de către Iulius Cezar. În calendarul iulian, după trei ani comuni urmează un an bisect.

4 ani tropici durează 1460,9688 zile.

4 ani după calendarul iulian durează 1461,0000 zile.

Diferența rămasă, de 0,0312 zile, crește în 128 de ani la o jumătate de zi. De aceea, calendarul iulian nu mai este astăzi în uz.

Calendarul gregorian. Calendarul uzual astăzi în majoritatea țărilor lumii. El a fost propus în anul 1582 de către o comisie numită de papa Grigore al XIII-lea.

Regula anilor bisecți în calendarul gregorian

Toți anii al căror număr este divizibil cu patru sunt ani bisecți. Dar, toți anii de început de secol, al căror număr nu este divizibil cu 400, sunt considerați ani comuni.

1800, 1900, 2100 sunt ani comuni.

1988, 1992, 1996, 2000, 2004, 2008, 2012 ș.a.m.d. sunt ani bisecți.

400 de ani tropici durează 146 096, 88 zile.

400 de ani după calendarul gregorian durează 146 097,00 zile.

Diferența rămasă poate fi neglijată pentru următoarele milenii.

Data iuliană. O numărătoare curentă a zilelor des folosită în astronomie, fără o împărțire în perioade de timp mai mari.

Fiecare zi este desemnată printr-un număr. Diferențele de timp pot fi astfel ușor calculate. Începutul numărătorii a fost fixat (în mod artificial) la data de 01.01.4713 î.Hr.

Ziua din calendarul gregorian	Data iuliană
01.09.1980	2 444 484
01.01.1990	2 447 893
01.01.2000	2 451 545

♣ Astronomia în Egipt, p. 167.

COORDONATELE ASTRONOMICE

Coordonatele astronomice

Mijloace ajutătoare pentru descrierea poziției unui punct de pe sfera cerească. Pentru orientarea pe bolta cerească, constelațiile constituie mijloace suficiente. Totuși, ele nu mai sunt suficiente atunci când trebuie să se indice poziția exactă a unui punct pe sfera cerească.

Coordonatele astronomice sunt folosite pentru:

- Determinarea mișcării proprii a stelelor;
- Detectarea obiectelor cu o luminositate slabă, care nu pot fi văzute cu ochiul liber;
- Observarea și aprecierea mișcării unei comete față de stele.

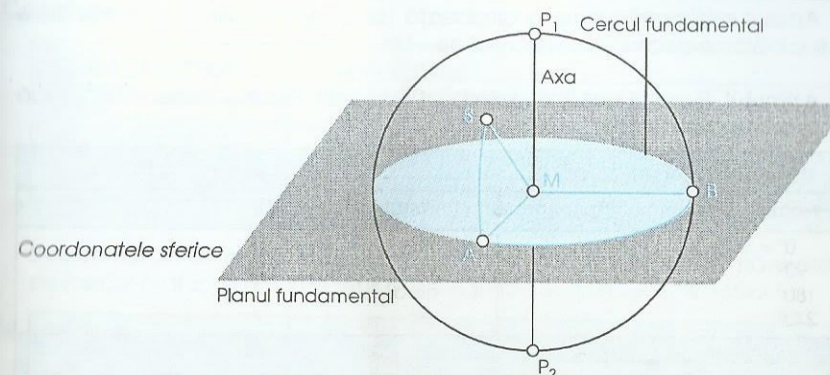
Pentru descrierea poziției unui punct aflat pe sfera cerească sunt necesare coordonate sferice. Raza sferei cerești este considerată ca fiind infinit de mare.

Coordonatele sferice

Baza unui sistem de coordonate sferice o constituie axa și planul fundamental, ca și un punct de reper pe cercul fundamental.

Axa	Trece exact prin centrul sferei
Planul fundamental	Plan perpendicular pe axă, conținând centrul sferei
Cercul fundamental	Intersecția planului de bază cu suprafața sferei
Polii	Intersecția axei cu suprafața sferei

Coordonatele sunt definite ca unghiuri (cu vârful în centrul sferei).



Coordonata 1 Unghiul de distanță	Distanța față de planul fundamental; unghiul AMS
Coordonata 2 Unghiul de direcție	Unghiul BMA, măsurat pe planul de bază dintr-un punct de reper

- Coordonatele geografice sunt coordonate sferice.

Cercul fundamental	Ecuatorul terestru
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polii Pământului
Unghiul de distanță	Latitudinea geografică
Unghiul de direcție	Longitudinea geografică
Punctul de reper	Intersecția dintre meridianul Greenwich și ecuatorul terestru

Coordonatele orizontale

Cercul fundamental	Orizontul
Centrul	Punctul din care se face observația
Polii	Zenitul și Nadirul
Unghiul de distanță	Înălțimea h
Unghiul de direcție	Azimutul a
Punctul de reper	Punctul sud al orizontului

Înălțimea. Unghiul de distanță al stelei cu orizontul matematic.

Înălțimea	Steaua se găsește la
0°	orizontul matematic
90°	zenitul observatorului

În cazul înălțimilor cu valoare negativă, steaua se află sub orizont.

♣ Orizontul, p. 25.

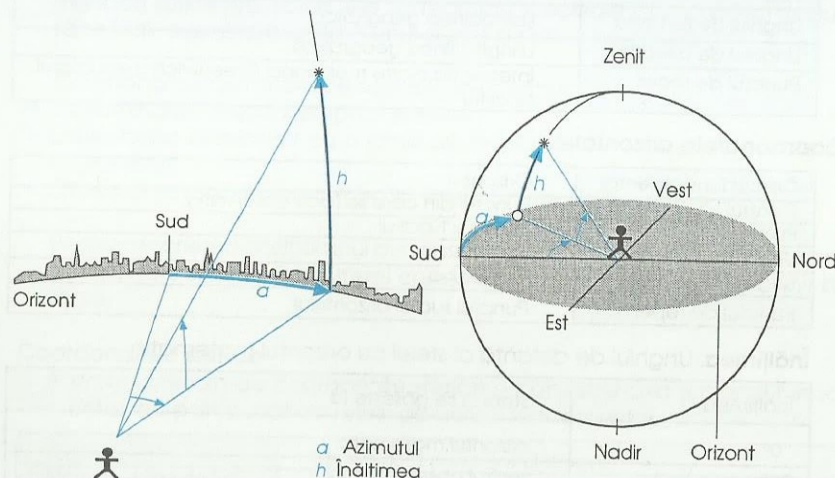
■ Apusul astronomic începe dimineața (se sfârșește seara), când Soarele are o înălțime deasupra orizontului de -18°

Azimutul. Punctul cardinal, exprimat în grade. Pentru azimut există două feluri de numărători:

■ Numărătoare astronomică	
Azimut	Punct cardinal
$0^\circ = 360^\circ$	sud
90°	vest
180°	nord
270°	est
■ Numărătoare geodezică	
Azimut	Punct cardinal
0°	nord
90°	est
180°	sud
270°	vest

Numărătoarea geodezică se folosește și în timpul zborurilor cosmice.

Dependența de timp și loc. Din cauza mișcării zilnice aparente a stelelor, coordonatele azimut și înălțimea deasupra orizontului sunt dependente de locul și timpul observației.



Azimutul și înălțimea deasupra orizontului ale unei stele din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ

Azimutul și înălțimea deasupra orizontului ale unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

Coordonatele orare

Cercul fundamental	Ecuatorul ceresc
Centrul	Punctul din care se face observația
Polii	Polii cerești
Unghiul de distanță	Declinația δ
Unghiul de direcție	Unghiul orar t
Punctul de reper	Intersecția dintre ecuatorul ceresc și meridian

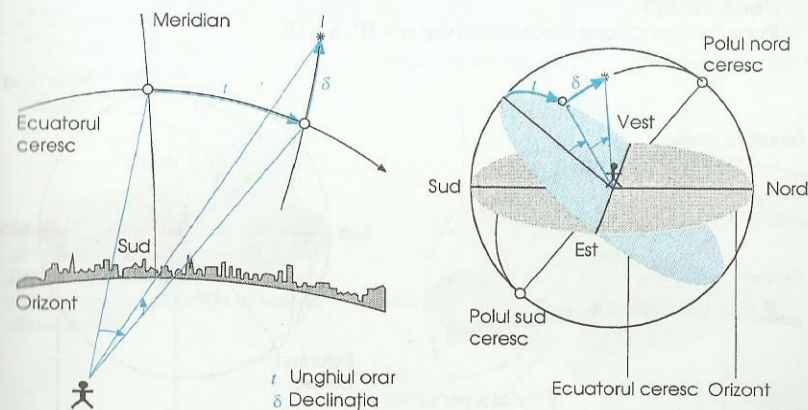
Declinația. Distanța unghiulară a stelei până la ecuatorul ceresc, măsurată pe cercul orar spre nord (în sens pozitiv) și spre sud (în sens negativ).

Declinația	Steaua se găsește la
0°	Ecuatorul ceresc
$+90^\circ$	Polul nord ceresc
-90°	Polul sud ceresc

■ Soarele are la începutul verii astronomice o declinație $\delta = +23,4^\circ$.

Cercul orar. Cel mai mare cerc de pe bolta cerească ce trece prin steaua respectivă și prin ambii poli cerești.

Unghiul orar. Unghiul dintre intersecția ecuatorului ceresc cu meridianul și intersecția ecuatorului ceresc cu cercul orar al stelei. El este măsurat în timp (0^h până la 24^h) sau în grade (0° până la 360°) de la intersecția ecuatorului ceresc cu meridianul, spre vest.



Unghiul orar și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator aflat pe Pământ

Unghiul orar și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești

- Unghiul orar al unei stele măsoară în momentul culminației superioare 0^h (0°) și la apoi toate valorile de la 0^h la 360^h (de la 0^h la 24^h) în decursul unei zile siderale.

Dependența de loc și de timp. În timpul mișcării zilnice aparente, unghiul solar este dependent de locul observației și de timp. Dimpotrivă, declinația unei stele nu este dependentă de nici una dintre ele.

↗ Timpul sideral, p. 38. ↗ Mișcarea zilnică a stelelor, p. 29 ↗ Precesia, p. 33.

Coordonatele ecuatoriale

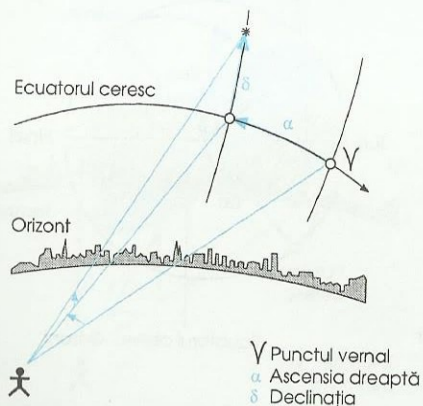
Cercul fundamental	Ecuatorul ceresc
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polii cerești
Unghiul de distanță	Declinația δ
Unghiul de direcție	Ascensia dreaptă α
Punctul de reper	Punctul vernal

Rețeaua de coordonate a sistemului de coordonate ecuatoriale rezultă în urma proiecției rețelei de coordonate terestre (latitudinea și longitudinea geografică) pe sfera cerească; totuși, se folosește ca punct de reper al sistemului de coordonate ecuatoriale punctul vernal.

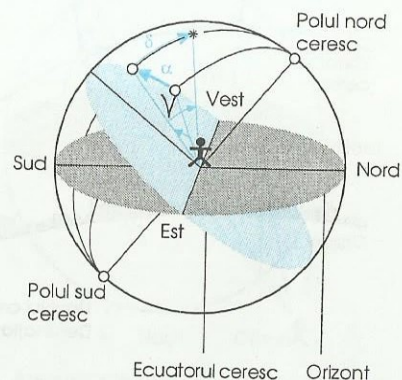
Declinația. Definiția și măsurarea ca și la coordonatele orare.

Ascensia dreaptă. Unghiul format între punctul vernal și intersecția dintre ecuatorul ceresc și cercul orar al stelei. Acesta se măsoară, în unități de timp (0^h până la 24^h), din punctul vernal, în sens contrar mișcării zilnice a sferei cerești.

Punctul vernal are coordonatele $\alpha = 0^h$, $\delta = 0^\circ$.



Ascensia dreaptă și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ce se găsește pe Pământ



Ascensia dreaptă și declinația unei stele din punctul de vedere al unui observator ipotetic plasat în exteriorul sferei cerești

Dependența de loc și de timp. Coordonatele „declinație” și „ascensia dreaptă” sunt independente de locul din care se face observația și de timp. De aceea, coordonatele ecuatoriale sunt preferate pentru întocmirea hărților și a atlaselor siderale.

↗ Precesia, p. 33. ↗ Hărți cerești, p. 28.

Coordonatele ecliptice

Cercul fundamental	Ecliptica
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polul nord ecliptic (în constelația Dragonul) Polul sud ecliptic (în constelația Peștele de Aur)
Unghiul de distanță	Latitudinea ecliptică β
Unghiul de direcție	Longitudinea ecliptică λ
Punctul de reper	Punctul vernal

Coordonatele ecliptice sunt folosite în special pentru descrierea mișcărilor Soarelui, Lunii, planetelor, precum și a altor corpuri din Sistemul Solar.

Latitudinea ecliptică. Distanța unghiulară a stelei față de ecliptică, măsurată pe meridianul stelei spre nord (pozitiv) și spre sud (negativ).

Meridianul. Cel mai mare cerc de pe sfera cerească ce trece prin steaua respectivă și prin amândoi polii ecliptici.

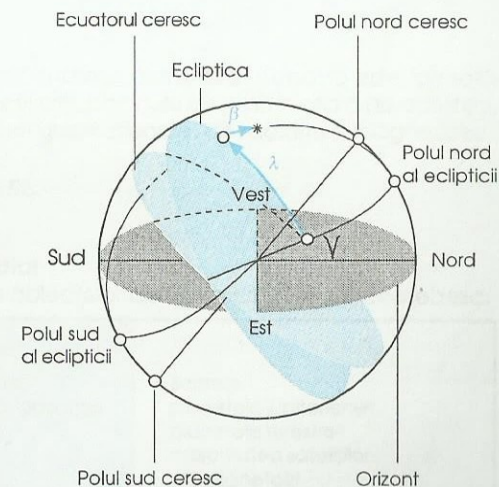
Longitudinea ecliptică. Unghiul dintre punctul vernal și intersecția dintre ecliptică și meridianul stelei. El este măsurat în grade (de la 0° la 360°) în aceeași direcție ca și ascensia dreaptă.

↗ Ecliptica, p. 31.

↗ Precesia, p. 33.

↗ Coordonatele ecuatoriale, p. 44.

Longitudinea ecliptică și latitudinea ecliptică ale unei stele, din punctul de vedere al unui observator ipotetic, plasat în exteriorul sferei cerești



Coordonatele heliocentrice

Descrierea poziției corpurilor ce intră în alcătuirea Sistemului Solar, având ca punct de referință Soarele.

Cercul fundamental	Ecliptica
Centrul	Centrul Soarelui
Polii	Polul nord ecliptic, Polul sud ecliptic
Unghiul de distanță	Latitudinea heliocentrică (b)
Unghiul de direcție	Longitudinea heliocentrică (l)

↗ Coordonatele ecliptice, p. 45.

Coordonatele galactice

Descrierea poziției obiectelor aflate în Calea Lactee.

Cercul fundamental	Ecuatorul galactic
Centrul	Centrul Pământului
Polii	Polul nord al galaxiei (în constelația Păruț Berenicei) Polul sud al galaxiei (în constelația Sculptorului)
Unghiul de distanță	Latitudinea galactică (b)
Unghiul de direcție	Longitudinea galactică (l)
Punctul de reper	Intersecția ecuatorului galactic cu linia ce unește Soarele și centrul galaxiei Calea Lactee (Acesta se află în constelația Săgetătorului)

Ecuatorul galactic. Cerc mare de pe sfera cerească definit ca intersecția acestuia cu planul Căii Lactee. ↗ Calea Lactee, p. 139.

Sistemul Solar**STRUCTURA SISTEMULUI SOLAR****Sistemul Solar**

Un sistem cosmic căruia îi aparțin Soarele, Pământul și alte obiecte. De asemenea, este adesea desemnat ca Sistemul Planetar. Sistemului Solar îi aparțin următoarele corpuri cerești:

Obiecte care fac parte din Sistemul Solar	
Corpuri cerești	Număr
Soare	1
Planete	9
Satelți	aprox. 60
Planetoizi	aprox. 500 000
Comete	aprox. 10^{11}
Meteoriti	

Corpurile cerești care fac parte din Sistemul Solar au diferite diametre.

- Soarele nostru, cel mai mare corp ceresc al sistemului, are un diametru de aproximativ 1 392 000 km (109 diametre terestre). Diametrele planetelor sunt cuprinse între 4 900 km și 143 000 km (diametrul terestru este de circa 12 800 km). Diametrul Lunii măsoară aproximativ 3 470 km (aprox. 1/4 din diametrul terestru).

↗ Soarele, p. 99.

În spațiul dintre planete se află materie planetară. Aceasta este formată din particule de gaz, micrometeoriti, particule de praf. În afară de acestea, în Sistemul Solar există câmpuri gravitaționale, de radiație și magnetice.

↗ Meteoriti, p. 92.

↗ Materia interplanetară, p. 95.

Structura fizică a Sistemului Solar

Starea de agregare și forma obiectelor din Sistemul Solar. Se deosebesc:

Corpuri cerești sferice	
- în stare de agregare gazoasă - în stare de agregare lichido-gazoasă - în stare de agregare solidă	Soarele planetele jupiteriene ¹⁾ planetele terestre ²⁾ majoritatea sateliților unii planetoizi

Corpuri cu formă neregulată	unii sateliți majoritatea planetoizilor nucleele cometelor meteorizi mai mari
Microparticule – din gaz – din praf	vântul solar lumina zodiacală, micrometeorizi
Câmpuri	câmpuri gravitaționale câmpuri de radiație câmpuri magnetice
¹⁾ Nucleul se află în stare de agregare solidă (combinații ale fierului și siliciului). ²⁾ Probabil interiorul este în parte lichid (ex. părți ale mantalei superioare).	

↗ Soarele, p. 99.

Distribuția masei în Sistemul Solar. Distribuția masei pe obiecte de sine stătătoare aparținând Sistemului Solar. Masa solară atinge $2 \cdot 10^{30}$ kg. Ea reunește aproape întreaga masă a sistemului (99,87%) și formează centrul de gravitație. Acesta menține laolaltă corpurile Sistemului Solar și determină, în mod fundamental, mișcarea pe orbită a corpurilor cerești. Forțele gravitaționale generate de corpuri mai mici (ex. planetele) acționează exclusiv ca perturbații.

↗ Legea gravitației, p. 48.

Distribuția masei în Sistemul Solar	
Grup de obiecte	Masa terestră = 1
Soare	333 000
Planete	446,8
Sateliți	0,12
Planetoizi	0,0004
Comete	0,1
Masă totală	aprox. 333 447 mase terestre

Legea gravitației

Gravitația. Atracția exercitată de mase – una dintre cele cinci forțe fizice fundamentale din natură și proprietate generală a materiei. Toate corpurile exercită o forță de atracție corespunzătoare masei lor.

- Gravitația menține masa unei stele, dar și corpurile cerești în cadrul unui sistem. Ea este cauza mișcării de rotație a planetelor în jurul Soarelui și a mișcării stelelor duble în jurul centrului de greutate comun.

- ↗ Mișcarea heliocentrică, p. 50; ↗ Starea de echilibru a stelelor, p. 124;
- ↗ Stelele duble, p. 130.

Legea gravitației a fost formulată de Newton. Matematic, ea este redată astfel:

$F = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$	F = forța gravitației G = constanta gravitațională m_1, m_2 = masele 1 și 2 r = distanța față de centrul de masă
---	---

Constanta gravitațională este o importantă constantă astronomică.

$$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$$

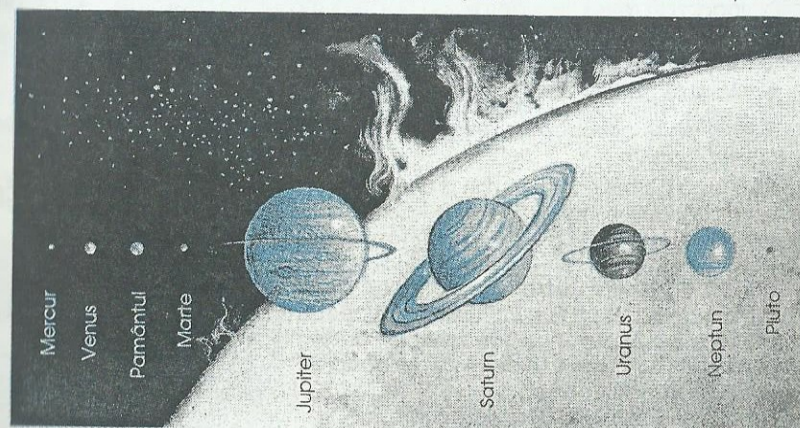
Legea gravitației constituie baza, în mecanica cerească, pentru calcularea orbitelor corpurilor cosmice și a sateliților artificiali.

↗ Descoperirea gravitației, p. 173.

PLANETELE

Planetele

Corpuri cerești de mari dimensiuni, având formă sferică și care se rotesc conform legilor lui Kepler pe orbite elipsoidale în jurul Soarelui; sunt luminate de acesta și strălucesc datorită reflectării luminii solare. În Sistemul Solar sunt cunoscute nouă planete. Se presupune că și în jurul altor stele se rotesc planete.



Mărimea planetelor în comparație cu mărimea Soarelui

După distanța lor față de Soare, planetele, în raport cu Pământul, sunt împărțite în planete interne (situate între Pământ și Soare) și planete externe (situate dincolo de orbita terestră).

Numele planetei	Simbol astronomic	Denumire dată în raport cu poziția orbitei față de Pământ
Mercur	☿	planete interne (denumite și planete inferioare)
Venus	♀	
Pământ	♁	
Marte	♂	planete externe (denumite și planete superioare)
Jupiter	♃	
Saturn	♄	
Uranus	♅	
Neptun	♆	
Pluto	♇	

Mișcările heliocentrice

Mișcările planetelor pe orbite în jurul Soarelui, conform legilor lui Kepler. Mișcările pe bolta cerească au loc de regulă de la vest la est și sunt desemnate a fi dextrogire. ♀ Legile lui Kepler, p. 54.

Perioada de revoluție. Perioada de timp în care planeta descrie o rotație completă în jurul Soarelui. Perioada de revoluție siderală (U) este durata de timp după care o planetă, din punctul de vedere al unui observator ipotetic aflat pe Soare, revine la poziția inițială pe bolta cerească. Perioada de revoluție sinodică (S) este perioada de timp scursă între două conjuncții sau două opoziții între Soare, Pământ și planete.

♂ Constelațiile, p. 53.

Perioada de revoluție siderală nu poate fi măsurată direct de pe Pământ. Ea poate fi calculată însă din perioada de revoluție sinodică. Perioada de revoluție siderală, după cea de-a treia lege a lui Kepler, este în relație cu semi-axa mare a orbitei.

Relația dintre perioada de revoluție siderală și perioada de revoluție sinodică a unei planete.

SE_1P_1 este o poziție de opoziție a unei planete exterioare cu Soarele, iar SE_2P_2 este poziția consecutivă. În timpul scurs între aceste opoziții, planeta P a parcurs arcul P_1P_2 , pe când pământul E a descris o rotație completă și a parcurs, în plus, arcul E_1E_2 . Notându-se cu α unghiul care subîntinde arcele P_1P_2 și E_1E_2 , se obține pentru planetă $\alpha : 360^\circ = S : U$, iar pentru Pământ $(360^\circ + \alpha) : 360^\circ = S : I$, unde I este perioada de revoluție a Pământului.

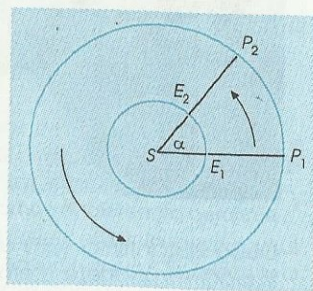
De aici se obțin următoarele ecuații:

$$S = \frac{I \cdot U}{I - U}$$

(pentru
planete interne)

$$S = \frac{U \cdot I}{U - I}$$

(pentru
planete externe)



Perioada de revoluție și viteză pe orbită a planetelor			
Numele planetei	Perioada de revoluție		Viteza orbitală medie în km·s ⁻¹
	siderală în zile	sinodică în zile	
Mercur	87,97	115,9	47,90
Venus	224,70	583,9	35,05
Pământ	365,26	–	29,80
Marte	686,98	779,9	24,12
Jupiter	4 332,59	398,9	13,06
Saturn	10 759,21	378,1	9,65
Uranus	30 685,40	369,6	6,80
Neptun	60 189,00	367,5	5,43
Pluto	90 465,00	366,7	4,74

Șirul Titius-Bode

Ecuații empirice datorate lui J. P. Titius și J. E. Bode, cu ajutorul cărora poate fi calculată distanța medie aproximativă (a) a planetelor față de Soare. Nu a fost încă stabilit dacă este vorba despre o lege sau despre un fenomen întâmplător în Sistemul Solar.

Planeta	n = număr atribuit planetelor	Distanța (a) în UA	
		Distanța calculată	Distanța observată
Mercur	∞	0,4	0,39
Venus	0	0,7	0,70
Pământ	1	1,0	1,00
Marte	2	1,6	1,52
Planetoizi	3	2,8	2,90
Jupiter	4	5,2	5,20
Saturn	5	10,0	9,54
Uranus	6	19,6	19,18
Neptun ¹⁾	7	38,8	30,06
Pluto ¹⁾	8	77,2	39,44

¹⁾ orbitele planetelor Neptun și Pluto nu corespund satisfăcător acestei relații.

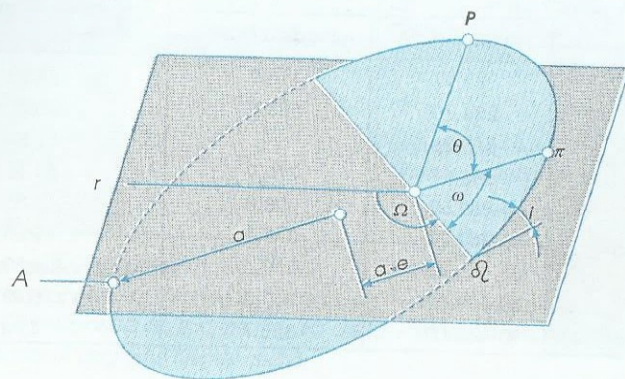
Distanța planetelor față de Soare este calculată după următoarea ecuație:

$$a = 0,4 + 0,3 \cdot 2^n$$

Golul inițial existent între Marte și Jupiter a fost umplut prin descoperirea planetoizilor, pentru care corespunde numărul 3.

Elementele orbitei

Orbita unei planete (sau a Lunii, respectiv a altor sateliți) este determinată în mod clar de șase elemente.



Determinarea orbitei

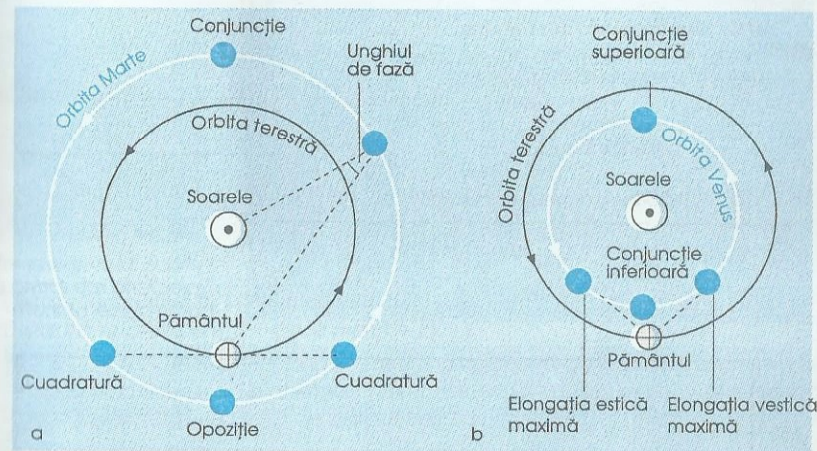
Pentru calcule sunt folosite următoarele mărimi:

- a – lungimea semiaxei mari (distanța medie față de Soare, respectiv mărimea orbitei);
 - i – înclinajia orbitei față de planul eclipticii;
 - Ω – longitudinea nodală (orientarea orbitei față de punctul vernal);
 - ω – distanța nodului ascendent față de periheliu (orientarea elipsei orbitei în planul orbitei);
 - e – excentricitatea orbitei (descrierea formei orbitei);
 - T – timpul la periheliu (momentul trecerii corpului ceresc prin periheliu; de aici poate fi calculată poziția momentană a obiectului pe orbită).
- O determinare a orbitei se obține din trei observații diferite.

Elementele medii orbitale ale unei planete					
Planeta	Distanța medie față de Soare (semiaxa mare) în UA	Excentricitatea orbitei în °	Înclinajia față de ecliptică în ° și '	Lungimea	
				nodului ascendent în ° (2000)	periheliului
Mercur	0,39	0,2056	7°	48	77
Venus	0,72	0,0068	3°23'	76	131
Pământ	1,00	0,0167	0°	125	103
Marte	1,52	0,0934	1°50'	49	136
Jupiter	5,20	0,0482	1°18'	100	14
Saturn	9,54	0,0553	2°29'	113	93
Uranus	19,27	0,0474	0°46'	74	170
Neptun	30,20	0,0104	1°46'	132	44
Pluto	39,84	0,2476	17°9'	110	223

Mișcările geocentrice

Mișcările aparente ale unei planete pe sfera cerească, din punctul de vedere al unui observator terestru. Ele sunt urmări ale mișcării heliocentrice a Pământului și planetelor. Relativ la Soare, pentru un observator de pe Pământ, o planetă poate apărea în diferite poziții pe boltă.



Orbita: a) a unei planete externe (Marte); b) a unei planete interne (Venus)

- Pozițiile rarissime ale stelelor au stat de-a lungul timpului în atenția astrologilor. Așa s-a întâmplat, spre exemplu, cu steaua de la Bethlehem, desigur o foarte rară opoziție între Jupiter și Saturn, aflate în momentul nașterii lui Iisus Hristos (7 î. Hr.) în constelația Peștilor. Această poziție astronomică a fost interpretată de către Matei în Evanghelia sa drept nașterea regelui iudeilor, întrucât Jupiter trecea drept stea regală, iar Saturn drept stea a evreilor.

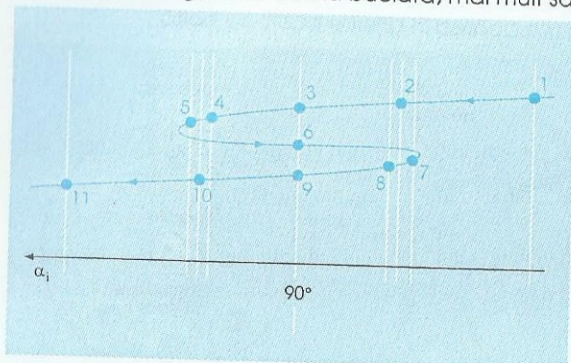
Vizibilitatea planetelor. În timpul opoziției, planetele externe sunt vizibile întreaga noapte, în timp ce la conjuncție rămân invizibile.

Planetele interne au doar o mică distanță unghiulară față de Soare. Elongația lor maximă estică sau vestică (diferența în longitudine ecliptică între Soare și o planetă) măsoară pentru Mercur cel mult 27°, iar pentru Venus cel mult 47°. De aceea, aceste planete pot fi observate, în general, doar seara, în emisfera cerească vestică, sau dimineața, în emisfera cerească estică.

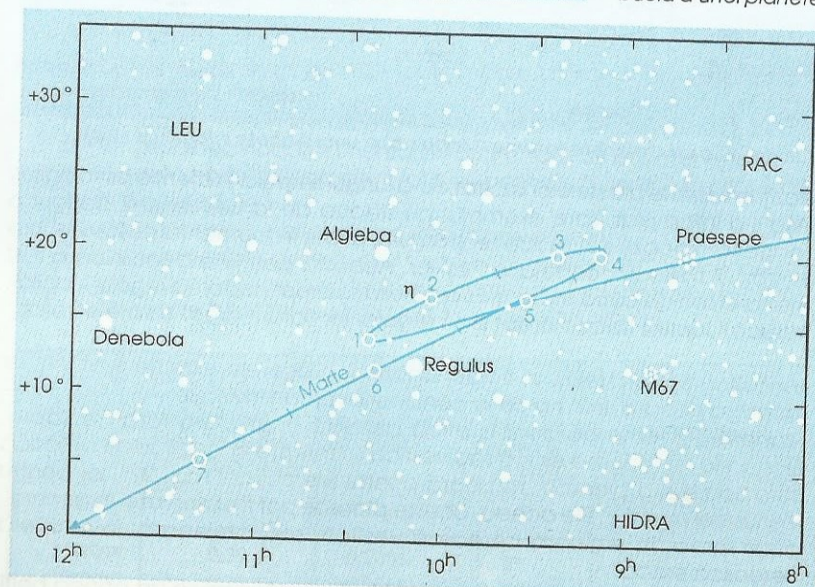
- În elongație estică, Venus este vizibil pentru noi în partea de apus a bolții cerești ca „luceafărul de seară”, iar în elongație vestică, în partea de răsărit, ca „luceafărul de dimineață”.

Buclele orbitelor planetare. Pentru un observator aflat pe Pământ, planetele se mișcă, în general, rectiliniu, adică de la vest la est, străbătând constelațiile zodiacului. Datorită vitezei unghiulare inconstante a planetei, se ajunge la faze de depășire a planetei respective de către Pământ. Când acesta

depășește o planetă externă mai lentă, adică în momentul opoziției, atunci respectiva planetă se mișcă pentru un anumit timp retrograd. Datorită înclinației orbitei reale a planetei față de eclipsă, orbita planetei ia în timpul mișcării retrograde o formă buclată, mai mult sau mai puțin pronunțată.



Traectoria sub formă de buclă a unei planete



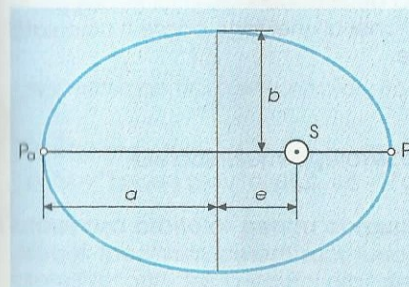
Mișcarea observată a planetei Marte în anii 1994-1995

Legile lui Kepler

Johannes Kepler a formulat trei legi asupra mișcării neperturbate a planetelor în jurul Soarelui. Acestea sunt valabile pentru orice mișcare a unui corp cu o masă relativ mică în câmpul gravitațional al unui corp cu o masă relativ mare (ex. pentru mișcarea unui satelit sau a unui corp artificial în jurul unei planete).

Prima lege a lui Kepler

Orbitele planetelor sunt elipse care au Soarele în unul din focare.



S – Soarele
P_a – afeliu, cea mai îndepărtată poziție față de Soare a planetei
P_p – periheliu, cea mai apropiată poziție față de Soare a planetei
a – semi-axa mare
b – semi-axa mică
e – excentricitate lineară
 $e^2 = a^2 - b^2$
excentricitatea numerică $\varepsilon = e/a$

Prima lege a lui Kepler

Distanța la periheliu = $P_p S = a - e = a(1 - \varepsilon)$;

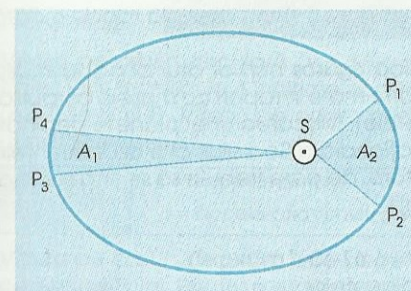
Distanța la afeliu = $P_a S = a + e = a(1 + \varepsilon)$.

În astronomie, elipsa este caracterizată de mărimile a și e . Din prima lege a lui Kepler se deduce că planetele, în timpul rotației în jurul Soarelui, își schimbă permanent distanța față de corpul central.

- Distanța medie Pământ – Soare (semi-axa mare a orbitei terestre) poartă numele de unitate astronomică – UA ($1 \text{ UA} = 149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$). Cea mai mică depărtare a Pământului față de Soare este de $147,1 \cdot 10^6 \text{ km}$ (periheliu, în ianuarie), iar cea mai mare de $152,1 \cdot 10^6 \text{ km}$ (afeliu, începutul lui iulie). ↗ Unități de distanță, p. 111; ↗ Elementele orbitei, p. 52.

A doua lege a lui Kepler (legea dependenței vitezei orbitale a planetei în funcție de distanța față de Soare)

Raza vectoare Soare – Planetă mătură în perioade egale de timp suprafețe egale.



A doua lege a lui Kepler

Când $A_1 = A_2$, atunci planeta parcurge distanța $P_1 P_2$ în același timp ca și distanța $P_3 P_4$. De aici se deduce că viteza orbitală a planetei la periheliu (punctul cel mai apropiat de Soare) este mai mare decât viteza înregistrată la afeliu (punctul cel mai depărtat de Soare).

■ Viteza orbitală a Pământului este de 29,3 km/s la afeliu și de 30,3 km/s la periheliu. Semestrul de iarnă este în emisfera nordică a Pământului mai scurt decât semestrul de vară, diferența fiind de 7,6 zile. Prin existența unei forțe centrale, cea de a doua lege a lui Kepler trece drept legea ariilor. În câmpul gravitațional al unei forțe poate fi calculată suprafața măsurată de raza vectoare.

Pentru

A - suprafața măsurată,

D - impulsul de rotație al corpului care se rotește în jurul Soarelui,

t - timpul,

m - masa corpului care se rotește,

avem relația:

$$A = D \frac{t}{2m}.$$

Întrucât D și m sunt constante, atunci există relația $A \sim t$.

↗ Orbitele corpurilor cerești artificiale, p. 57.

↗ Orbitele cometelor, p. 91.

↗ Legea gravitației, p. 48.

A treia lege a lui Kepler (legea relației dintre mărimea orbitei și perioada de revoluție)

Pătratele perioadelor de revoluție a două planete sunt proporționale cu cuburile semiaxelor mari ale orbitelor lor.

$$\frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

din care rezultă

$$\frac{T^2}{a^3} = \text{constant}$$

T_1, T_2 - perioadele de revoluție ale planetelor 1 și 2
 a_1, a_2 - semiaxele mari ale orbitelor planetelor 1 și 2

Din cea de a treia lege a lui Kepler rezultă că viteza orbitală scade o dată cu depărtarea față de Soare.

În forma de mai sus, legea se aplică riguros numai atunci când masa corpului central (ex. Soarele) este foarte mare în raport cu masele corpurilor care se rotesc în jurul său (ex. planetele). Mișcarea unei planete depinde nu doar de forța de atracție gravitațională a Soarelui, ci și de influențele gravitaționale ale altor mase planetare, de care trebuie să se țină seama. În plus, se folosesc următoarele ecuații:

Dacă

G - constanta gravitațională ($G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ m}^3/\text{kg} \cdot \text{s}^2$),

T_1, T_2 - perioadele de revoluție ale planetelor,

a_1, a_2 - semiaxele mari ale orbitelor,

$m_\odot$ - masa solară,

m_1, m_2 - masele planetelor,

$$\text{atunci} \quad \frac{T_1^2(m_\odot + m_1)}{T_2^2(m_\odot + m_2)} = \frac{a_1^3}{a_2^3},$$

$$\text{respectiv, pentru o singură planetă} \quad \frac{T^2(m_\odot + m_1)}{a^3} = \frac{4\pi^2}{G}.$$

↗ Mișcarea heliocentrică, p. 50; ↗ Orbitele corpurilor cerești artificiale, p. 57; ↗ Legea gravitației, p. 48; ↗ Formularea legilor planetelor, p. 173.

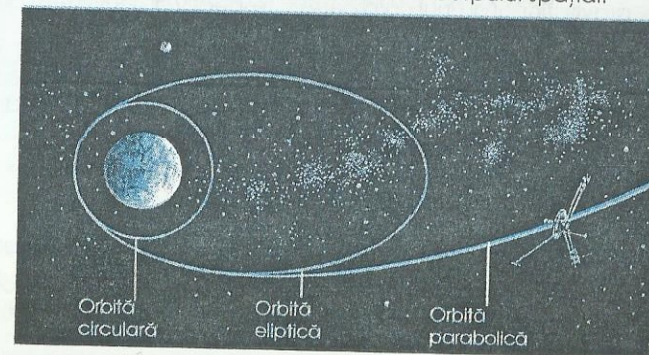
Calcularea orbitelor pentru corpurile cerești artificiale

Legile mecanicii cerești sunt fundamentale pentru calcularea orbitelor sateliților artificiali, a stațiilor orbitale și a altor corpuri artificiale. Principalele probleme pentru zborurile cosmice sunt învingerea forței de atracție a corpurilor cerești și dezvoltarea energiei necesare acestui corp.

Viteza orbitală

Viteza atinsă de obiectele spațiale după stingerea propulsoarelor ultimei trepte a rachetelor purtătoare, relativă la corpul ceresc de pe orbita cărora ies (ex. Pământ, Lună, planetă), respectiv în al cărui câmp gravitațional se mișcă.

Forma orbitei. Este determinată de viteza orbitală a corpului spațial.



Forma orbitei

Viteza pe orbita circulară (v_c). Mișcarea unui corp ceresc artificial pe o traiectorie închisă, la o înălțime constantă în jurul unui centru de gravitație (ex. Pământul). Viteza pe orbita circulară poate fi calculată cu ajutorul următoarei ecuații:

$$v_c = \sqrt{r \cdot g} \quad \begin{array}{l} r = \text{raza Pământului} \\ g = \text{acelerația gravitațională la suprafața Pământului (9,81 m/s}^2\text{)} \end{array}$$

Viteza pe orbita circulară este dependentă de înălțimea orbitei corpului ceresc artificial. Pentru o orbită plasată exact deasupra suprafeței terestre ($H = 0$), $v_c = 7,912 \text{ km/s}$.

Perioada de revoluție a acestui corp este de 84,4 min. Ea este desemnată ca viteza orbitală minimă. Totuși, această situație nu poate fi întâlnită niciodată în practică.

Viteza pe orbita circulară (v_c), perioada de revoluție (P) și înălțimea (H) ale unui corp ceresc artificial		
Înălțimea orbitei H (în km)	Viteza pe orbita circulară v_c (în km/s)	Perioada de revoluție P în ore și minute
200	7,79	1 28
500	7,63	1 34
1000	7,36	1 45
1500	7,13	1 56
2000	6,91	2 07
3000	6,53	2 31
5000	5,92	3 22
10000	4,94	3 48
20000	3,90	11 49
35900	3,07	24 00 (satelit geostaționar)
50000	2,66	36 53

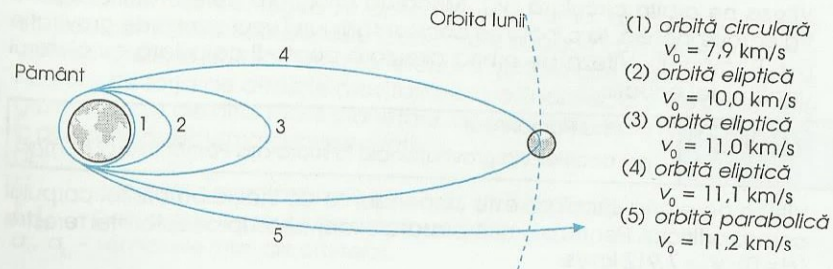
Pentru viteze mai mici sau mai mari decât viteza pe orbita circulară se obțin orbite elipsoidale.

Viteza de evadare (v_e). Viteza necesară unei rachete pentru a părăsi câmpul gravitațional al unui corp ceresc, respectiv al unui sistem cosmic.

Viteza pe orbita parabolică (v_p). Viteza trebuie să fie cu $1,414 (= \sqrt{2})$ mai mare decât viteza pe orbita circulară a unui corp ceresc artificial aflat pe o orbită la o anumită înălțime față de suprafața Pământului. Viteza pe orbita parabolică se calculează astfel:

$$v_p = \sqrt{2gr}$$

De aici, deducem că $v_p = \sqrt{2} \cdot v_c$. Viteza pe orbita parabolică necesară unui corp ceresc artificial pentru a părăsi câmpul gravitațional al Pământului de pe o orbită circulară de înălțime minimă este de 11,2 km/s.



Pentru fiecare corp ceresc se pot determina, în funcție de masa și de rază, viteza minimă pe orbita circulară (v_{mc}) și viteza de evadare de pe orbita de înălțime minimă (v_{me}).

Obiectul	v_{mc} în km/s	v_{me} în km/s
Soare	438	618
Mercur	3,0	4,2
Venus	7,3	10,3
Pământ	7,9	11,2
Lună	1,7	2,4
Marte	3,6	5,0
Jupiter	43	61
Saturn	26	37
Uranus	16	22
Neptun	18	25
Pluto		

Viteza hiperbolică (v_h). Viteza necesară unui corp ceresc artificial pentru a părăsi câmpul gravitațional al Soarelui. Ea trebuie să fie de $\sqrt{2}$ ori mai mare decât viteza medie de revoluție a planetei de pe care este lansat corpul respectiv. Pentru Pământ se obține valoarea de 42,2 km/s, tangențial la orbita terestră. Întrucât viteza pe orbită a Pământului atinge 29,8 km/s, apare o diferență de 12,5 km/s, complementară vitezei de evadare de pe Pământ, de 11,2 km/s, viteză necesară atingerii unei traiectorii hiperbolice.

Din relația

$$v_h = \sqrt{v_{p1}^2 + v_{p2}^2}$$

v_{p1} - viteza parabolică pentru Pământ
 $v_{p2} = 12,5$ km/s

se obține, pentru un corp ceresc artificial lansat de pe Pământ, ce dorește să părăsească câmpul gravitațional al Soarelui, o viteză hiperbolică de 16,7 km/s.

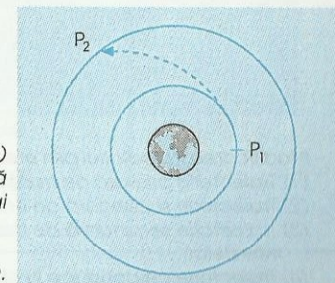
Traectoria zborurilor interplanetare

Traseul descris de rachete spre alte corpuri cerești ale Sistemului Solar, spre care un zbor rectiliniu nu este posibil.

Traectoria clasică de tranzit (traectoria Hohmann) - reprezentată cu o linie întreruptă - de la o orbită circulară mai apropiată de Pământ la una mai îndepărtată.

P_1 - impuls de pornire;

P_2 - impuls de adaptare (corecții ale traiectoriei).



Traectoriile Hohmann. Pentru ca un obiect-țintă să fie atins într-o perioadă de zbor cât mai scurtă și cu un consum de energie cât mai redus, rachetele trebuie aduse, de exemplu, pe o orbită eliptică în jurul Soarelui, ce se desfășoară tangențial cu orbita terestră și atinge obiectul-țintă (elipsă de atingere).

- Pe o traiectorie Hohmann, zborul până la planeta Marte durează 260 de zile. Pentru întoarcere este necesar același timp. Dar, pentru că între start și reîntoarcerea pe Pământ, planeta noastră parcurge o anumită distanță în drumul său în jurul Soarelui, zborul durează mai mult de 520 de zile.
- ↗ Efectul swing-by, p. 60.; ↗ Mișcarea heliocentrică, p. 50.; ↗ Elementele orbitei, p. 52.

Efectul swing-by (fly-by)

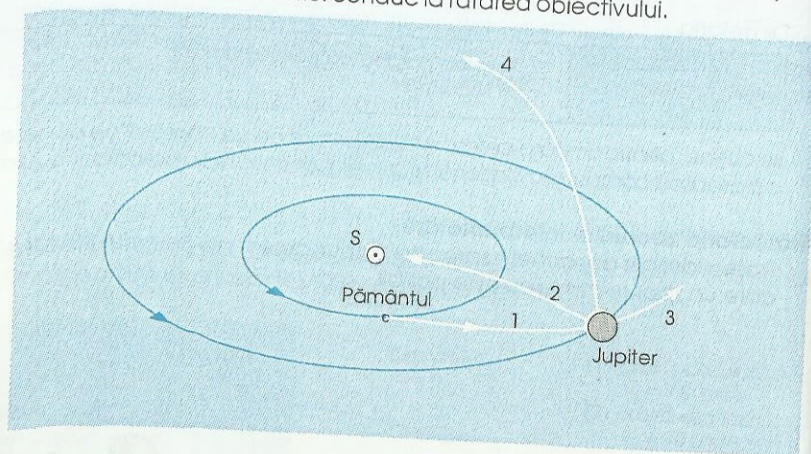
Folosirea forței gravitaționale și a vitezei orbitale a unui corp ceresc în scopul modificării traiectoriei sau a vitezei unui corp artificial. Modificarea traiectoriei este dependentă de masa corpului ceresc, de distanța din timpul zborului pe lângă corpul ceresc și de direcția corpului artificial.

Avantaje:

- modificarea traiectoriei fără consum de combustibil;
- scurtarea duratei zborului interplanetar;
- posibilitatea atingerii unor ținte suplimentare.

Dezavantaje:

- interval favorabil startului relativ îngust;
- micile inexactități din timpul manevrelor de corecție a traiectoriei conduc la ratarea obiectivului.



Modificarea traiectoriei prin efectul swing-by.

- (1) Traiectorie primară de tranziție Pământ (P) – planetă /ex. Jupiter.
- (2) Traiectorie secundară de tranziție în interiorul Sistemului Solar și spre Soare.
- (3) Traiectorie secundară de tranziție în exteriorul Sistemului Solar și în spațiul interstelar.
- (4) Traiectorie ce conduce în afara Sistemului Solar.

- Planeta Jupiter este, spre exemplu, grație masei sale relativ mari, în postură de a conduce sondele spațiale către orice țintă din afara Sistemului Solar (ex. Pioneer Jupiter, Voyager).

Pentru planetele inferioare, datorită maselor lor reduse, aceste manevre au loc cu serioase constrângeri. Ele pot modifica viteza și traiectoria unui corp ce trece pe lângă ele doar într-o manieră neesențială.

Clasificarea fizică a planetelor

Mărimi de stare	Planete terestre Mercur, Venus, Pământ, Marte	Planete jupiteriene Jupiter, Saturn, Uranus, Neptun
raza	relativ mică	relativ mare
masa	relativ mică	relativ mare
densitatea	relativ mare	relativ mică

Pe baza caracteristicilor de mai sus, planetele terestre și cele jupiteriene se deosebesc chiar și în ceea ce privește structura internă și compoziția chimică.

Planetele jupiteriene se împart în planete-gigant (Jupiter, Saturn) și planete mari (Uranus, Neptun). Planeta Pluto nu este inclusă până acum în această clasificare, datorită faptului că datele observațiilor sunt încă incerte.

Mărimi fizice importante care caracterizează planetele

Planeta	Raza ecuatorială în km	Masa în mase terestre ($5,976 \cdot 10^{24}$ kg)	Densitatea medie în $\text{g} \cdot \text{m}^{-3}$
Mercur	2439	0,056	5,44
Venus	6052	0,815	5,24
Pământ	6378	1,000	5,52
Marte	3394	0,107	3,94
Jupiter	71398	317,82	1,33
Saturn	60330	95,11	0,70
Uranus	25900	14,52	1,27
Neptun	24300	17,22	1,71
Pluto ¹⁾	1190	0,04	2,10

¹⁾ Date incerte

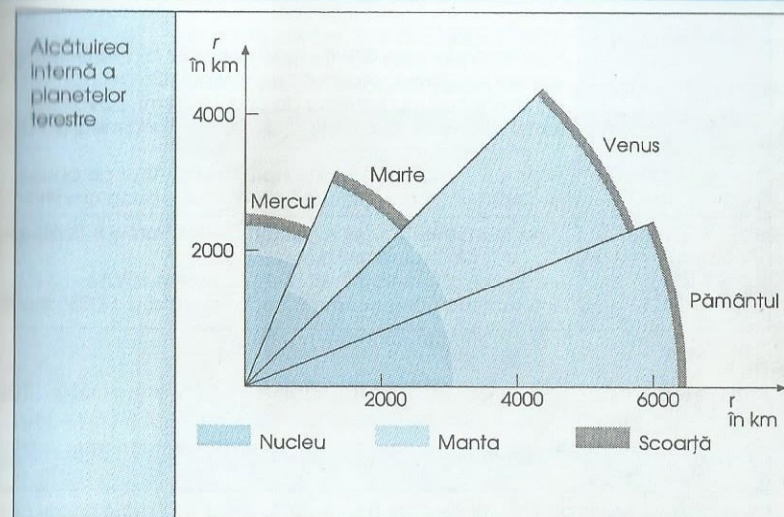
Mărimi fizice importante care caracterizează planetele (continuare).

Planeta	Accelerația gravitațională la suprafață în g_{terestre}	Viteza de evadare la Ecuator în km/s	Durata de rotație în			
			zile	h	min	s
Mercur	0,39	4,3	58	15		
Venus	0,90	10,4	224	3	40	
Pământ	1,00	11,2		23	56	4
Marte	0,38	5,0		24	37	23
Jupiter	2,51	59,5		9	50	
Saturn	1,06	33,4		10	14	
Uranus	0,88	21,2		17	15	
Neptun	1,16	23,9		18	12	
Pluto ¹⁾	$\approx 0,14$	1,27	6	9	17	

¹⁾ Date incerte

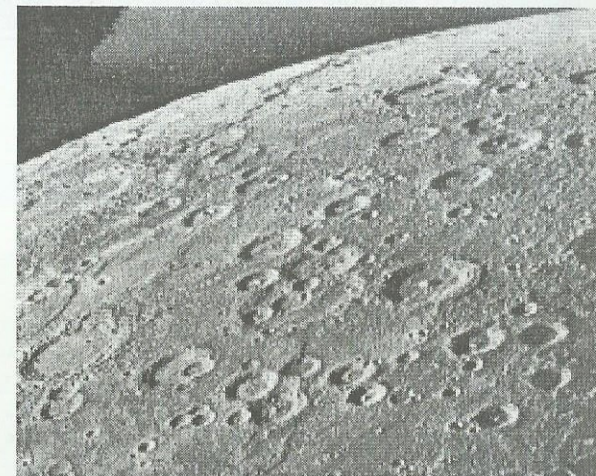
Caracteristicile planetelor terestre

Distanța față de Soare	0,39 UA – 1,52 UA
Masa	0,056 mase terestre – 1 masă terestră
Raza	2439 km – 6378 km
Densitatea medie	3,94 g/cm ³ – 5,52 g/cm ³
Rotația	23h 56 min 4 s – 224 zile 3h 40 min
Turtirea	0 – 1/300
Atmosfera	acolo unde există, în special HCO ₂ , N ₂ , O ₂ , H ₂ O
Suprafața	scoarță solidă, cratere de impact
Alcătuirea internă	învelișuri compuse în special din Fe, O, Si
Satelți	pufini sau inexistenți
Inele	nu există



Mercur

Suprafața celei mai apropiate planete de Soare este asemănătoare cu cea a Lunii, iar alcătuirea internă cu cea a Pământului.



Mercur
(MARINER 10)

Date importante

Atmosfera	– extrem de rară, probabil gaze captate din atmosfera solară; – urme de He, H, H₂O; – presiunea atmosferică la suprafață $2 \cdot 10^{-7}$ Pa.
-----------	--

Suprafața	- multe crăpături; - multe cratere de diferite mărimi, parțial cu munți centrali, câmpii sub forma unor bazine circulare, <i>Caloris Basin</i> (bazin de impact cu un diametru de cca 1400 km), povârnișuri sinuoase, versanți abrupti de 20-500 km lungime și până la 3 km înălțime; - temperatura la suprafață: aproximativ 700 K pe partea luminată de soare; aproximativ 90 K pe partea umbrată.
Structura internă	- nucleu din fier ocupând circa 50% din volum și 80% din rază; - manta din siliciu (≈ 600 km grosime); - câmpul magnetic corespunde cu axa de rotație; - intensitatea câmpului magnetic la suprafață: 0,0035 Gauss.

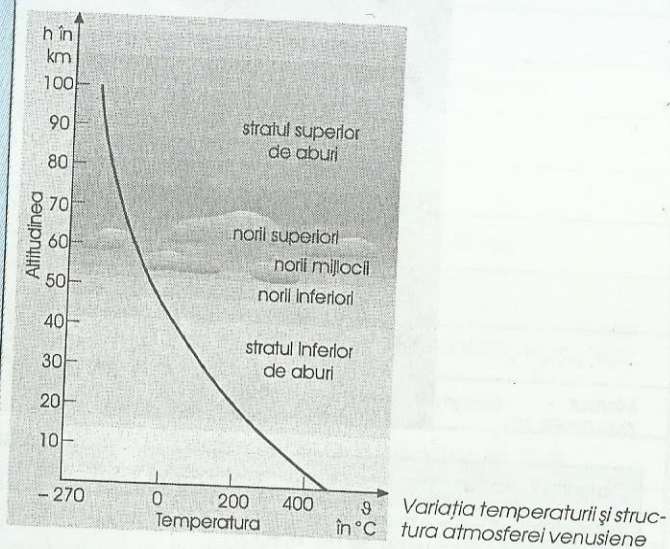
3

Venus

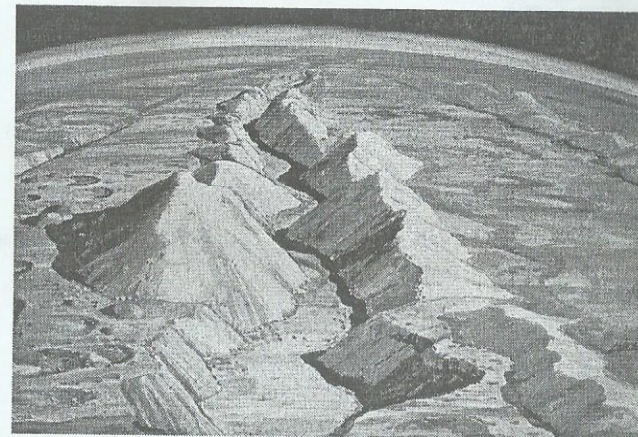
Foarte asemănătoare cu Pământul, după mărime și masă. Restul caracteristicilor fizice au anumite similitudini cu Pământul și cu Marte.

Date importante

Atmosfera Masa atmosferei venusiene este de 90 de ori mai mare decât cea a Pământului, fiind compusă în special din CO_2 (96,5%), NO_2 (3,5%), urme de H_2O și O_2 ; puternică circulație în straturile superioare; strat opac de nori galbeni din H_2SO_4 , reflectă 76% din radiația solară; creșterea temperaturii de la partea superioară a stratului de nori până la suprafața venusiană de la 180 K la 730 K; diferențe minime de temperatură între zi și noapte (efectul de seră); presiunea atmosferică la suprafață $9 \cdot 10^5$ Pa.



Suprafața	- circa 70% câmpii, 20% depresiuni, 10% podișuri, zone cu cratere nivelate, vulcani, din care unii probabil sunt activi; - scoarța: structură stâncos-pietroasă, cu un mare conținut de K.
Structura internă	- nucleu de Ni-Fe, circa 12% din masa planetei; - câmp magnetic slab.



Suprafața venusiană (MAGELLAN)

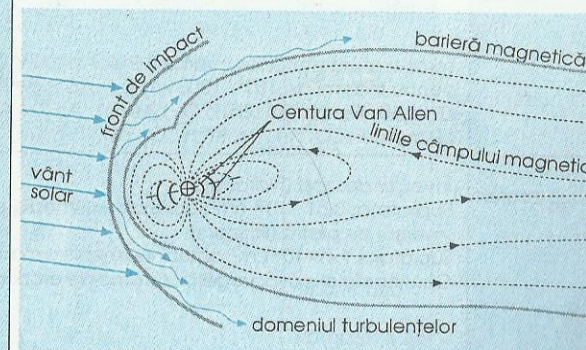
3

Pământul

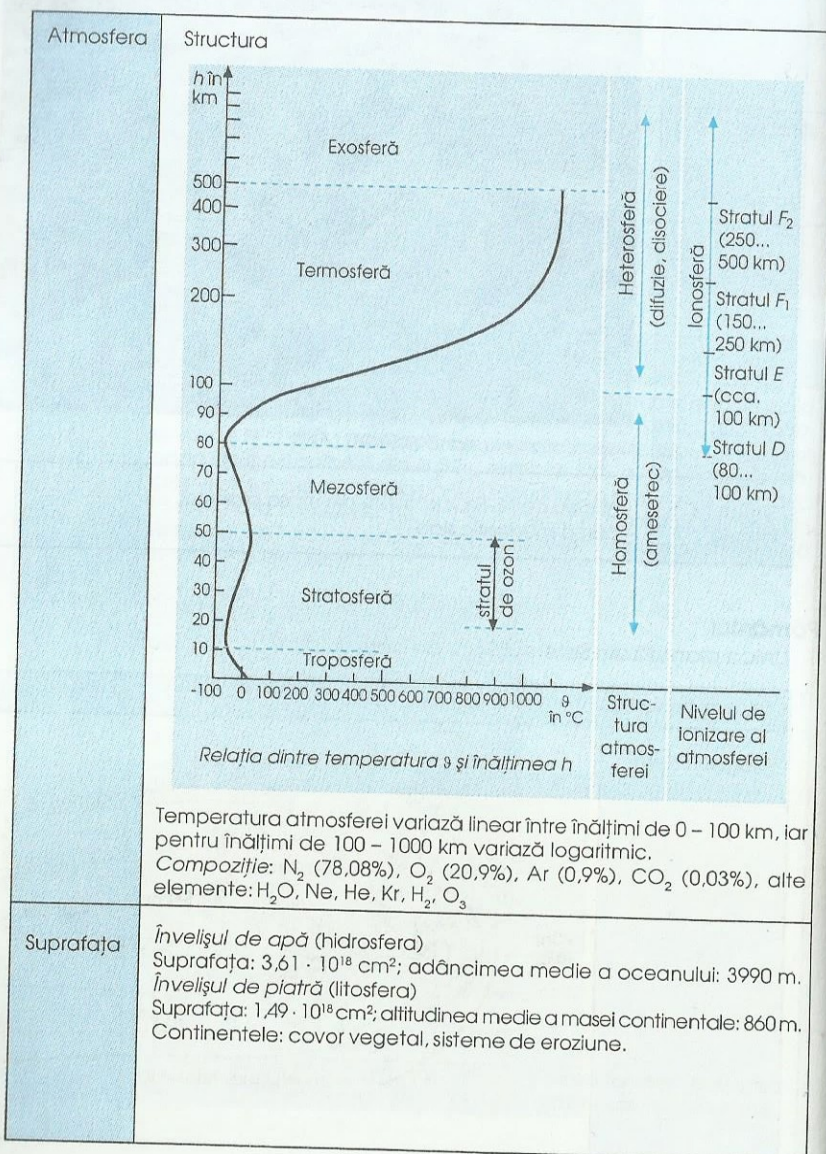
Unica planetă din Sistemul Solar pe care există viață evoluată.

Date importante

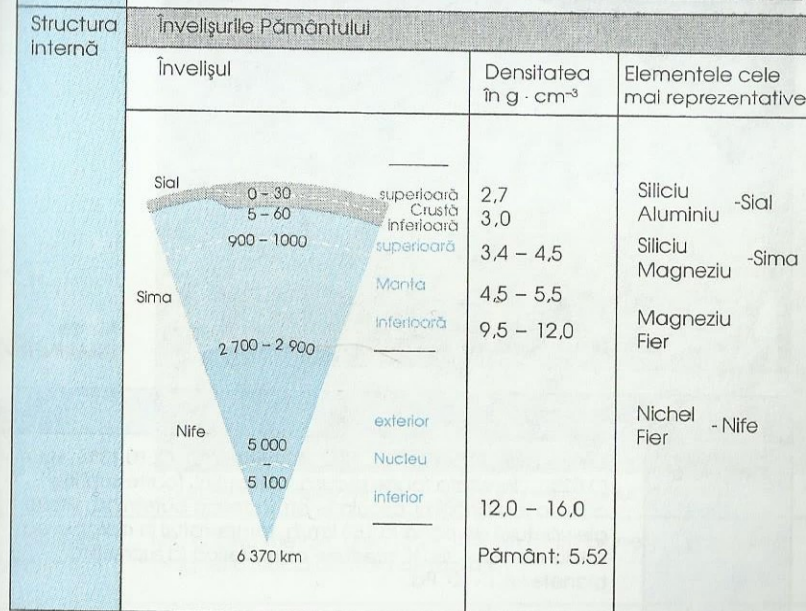
Magnetosfera

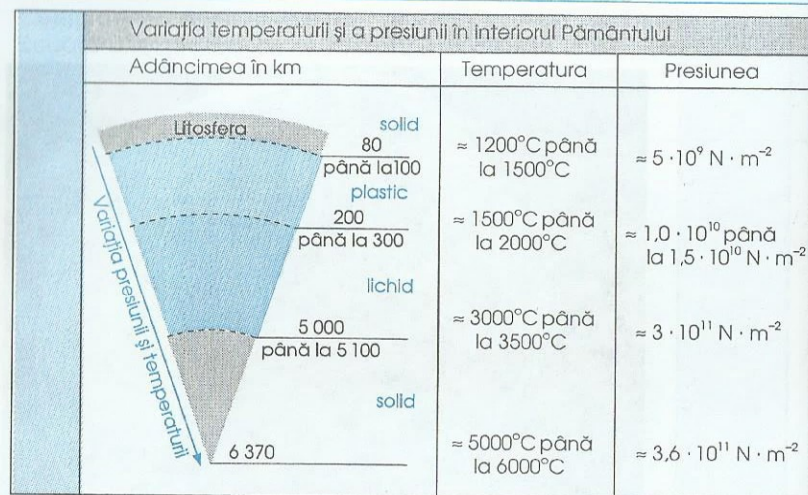


Centura Van Allen. Centură interioară la 1000 – 6000 km deasupra Ecuatorului (protoni cu nivel energetic ridicat). Centură exterioară la 15 000 – 25 000 km deasupra Ecuatorului (electroni).



Imaginea suprafeței terestre





Marte

Planeta este un deșert stâncos.



Marte
(MARINER 9)

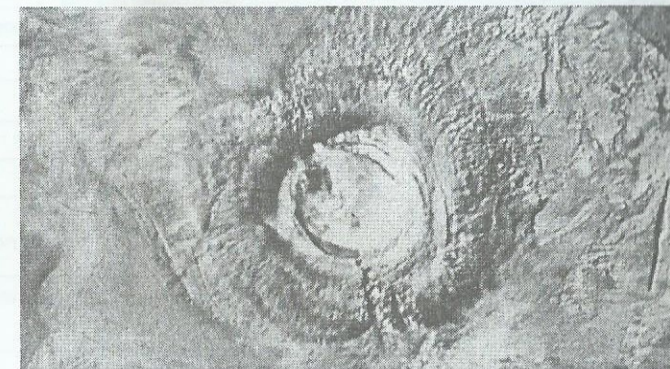
Date importante

Atmosfera

Compoziție: CO_2 (95,3%), N_2 (2,7%), Ar (1,6%), O_2 (0,13%), H_2O (0,03%), densitate foarte redusă, nori puțini, foarte subțiri și aflați la mari înălțimi, circulație atmosferică puternică, viteze ale vântului de până la 180 km/h, temperaturi în apropierea solului de 180 – 280 K, presiune atmosferică la suprafața planetei: $6,1 \cdot 10^2 \text{ Pa}$.

Suprafața

Câmpii înalte, cratere erodate, vulcani - scut stâncos și înalți, rețele de canioane foarte adânci (6 km în adâncime, între 100 și 200 km în lățime și aproximativ 4000 km în lungime).



Vulcanul - scut Olympus Mons se înalță la 27 000 m deasupra împrejurimilor sale. Cel mai înalt munte al Sistemului Solar; diametrul bazei $\approx 700 \text{ km}$.

Calote polare din gheață de apă, puternică eroziune a solului (furtuni de praf), blocuri bazaltice, dune de nisip, particule de praf cu un mare conținut de Fe ($\approx 16\%$), de aici culoarea roșu - brună a solului marțian, suprafața cu gheață permanentă; văi seci, apă în stare lichidă inexistentă.



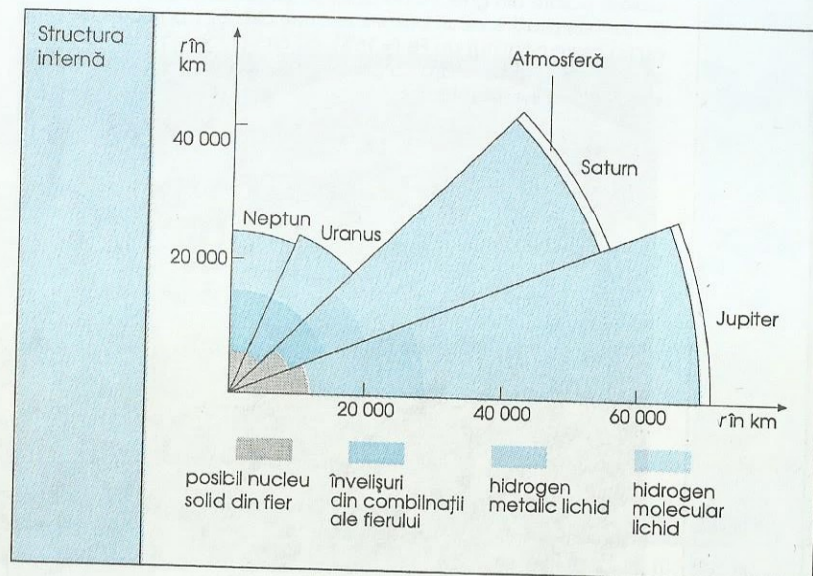
Suprafața planetei Marte în punctul amartizării lui VIKING 1

Structura internă

Mic nucleu metalic greu (5% – 10% din masa planetei), slab câmp magnetic, slabă centură de radiații.

Caracteristicile planetelor jupiteriene

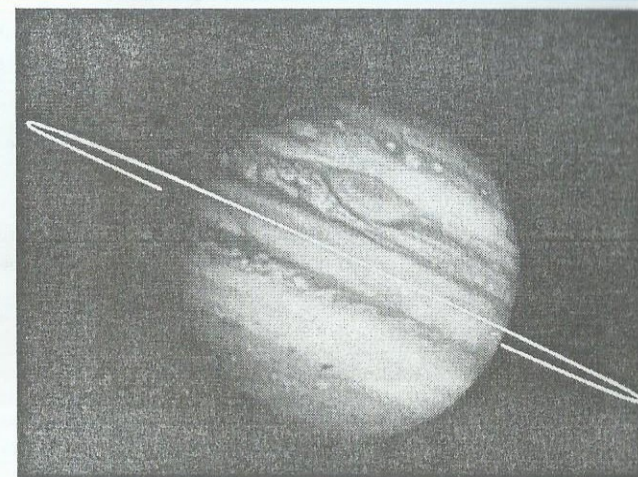
Distanța față de Soare	5,20 UA până la 30,06 UA
Masa	14,52 până la 317,82 mase terestre
Raza	24 300 până la 71 398 km
Densitatea medie	0,7 până la 1,7 g · cm ⁻³
Perioada de rotație	9 h 50 min până la 18 h 12 min
Turtirea	1/50 până la 1/10
Atmosfera	Compoziție: H, He, NH ₃ , CH ₄ ; Largă extindere, strat gros de nori
Structura internă	În general H și He sub formă metalică, nucleu solid
Inele	Sistem de inele de praf și gheață
Satelii	În general sisteme de sateliți



Jupiter

Cea mai mare planetă a Sistemului Solar, cu un diametru de 11 ori mai mare decât al Pământului.

Atmosfera turbulentă a lui Jupiter



Date importante

Magnetosfera	Extindere spațială de circa 50 de raze jupiteriene (pe partea luminată), până la 150 de raze jupiteriene (pe partea umbrată); câmp magnetic de 12 ori mai intens decât cel terestru măsurat la Ecuator, centură de radiații de 10 000 mai intensă decât valoarea înregistrată în magnetosfera terestră.
Atmosfera	Compoziție: H (circa 79 %), He (circa 19 %), cantități reduse de CH ₄ și NH ₃ (încă există atmosfera inițială), densitate mare, aproximativ 45 000 km grosime, benzi noroase întunecate și luminoase compuse din NH ₃ , NH ₄ SH, H ₂ O, o puternică circulație atmosferică cu viteze ale vântului de până la 540 km/h, regiuni cu puternice uragane.

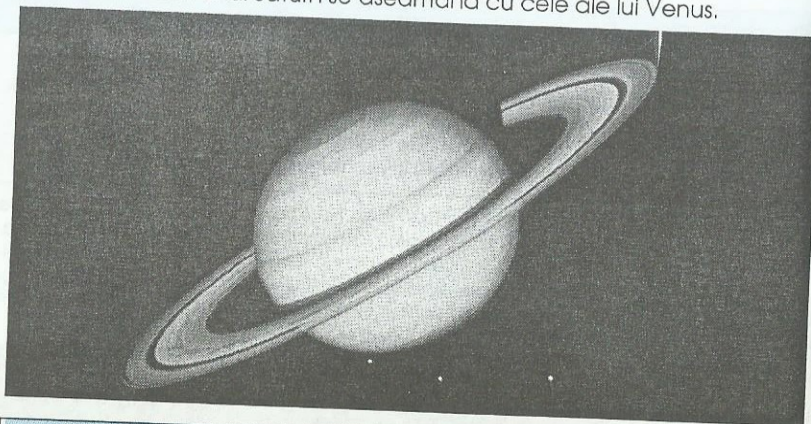


Marea pată roșie, uriaș anticiclone stabil; extinderea actuală: 20 000 km lungime, 10 000 km lățime

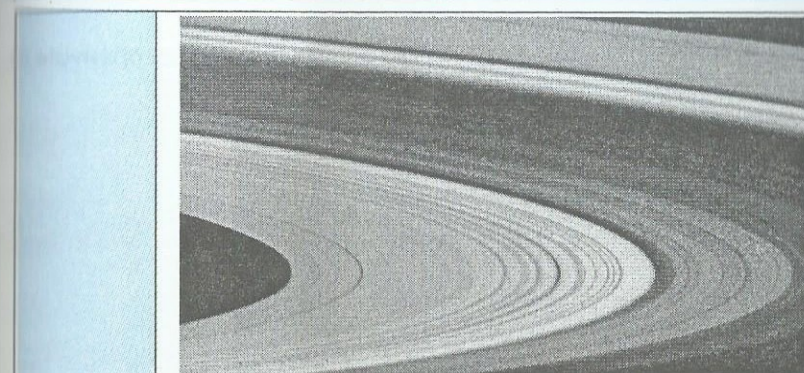
Suprafața	Condițiile de temperatură și presiune crează premisele existenței unui "ocean de hidrogen".
Structura internă	Domeniul exterior (mai mult de 50 000 km de la centru); la temperaturi de aproximativ 2 000 K, hidrogen molecular; Domeniul interior (mai puțin de 50 000 km de la centru); la temperaturi de circa 10 000 K, presiune de circa $3 \cdot 10^{11}$ Pa, hidrogen sub formă metalică. Nucleul – probabil elemente grele ca Si și Fe, temperatura de aproximativ 25 000 K, presiune de circa $8 \cdot 10^{12}$ Pa, emisie de căldură aproape dublă față de căldura primită de la Soare, probabil radiație remanentă din perioada formării planetei. Câmp magnetic puternic, intensitatea câmpului magnetic în stratul superior de nori: 4,3 Gauss.
Inelele	Sistem de inele subțiri (circa 6 000 km lățime și sub 30 km grosime), ca și un halou bine conturat.

Saturn

Cea mai frumoasă planetă cu inele a Sistemului Solar. Compoziția chimică și structura fizică a lui Saturn se aseamănă cu cele ale lui Venus.



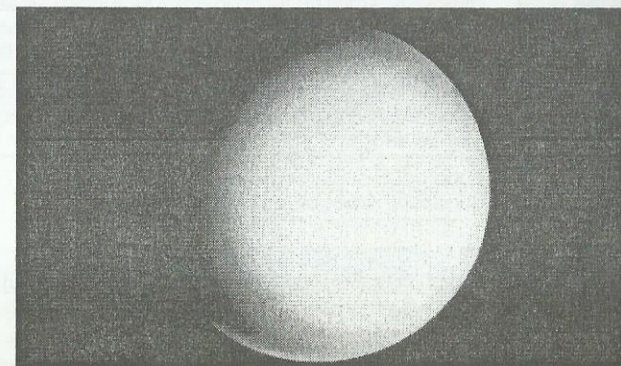
Date importante	
Atmosfera	Compoziție: H ($\approx 96\%$), He (circa 6%)
Structura internă	Nucleu de mărimea Pământului, cu un mare conținut de fier și cu o masă de trei ori mai mare decât masa Pământului, temperatura aproximativ 21 000 K, presiune de circa $5 \cdot 10^{12}$ Pa, puternic câmp magnetic în stratul superior de nori: 0,2 Gauss.
Inelele	Sistem de inele bine dezvoltat, cu mii de inele individuale, de mărimi și densități diferite. Origine: probabil resturi din momentul formării planetei, posibil și material al foștilor sateliți ai lui Saturn, distruși de forța mareică sau de coliziunile cu alți sateliți.



Sistemul de inele ale lui Saturn. Diametrul general este de circa 278 000 km, grosimea de 300 – 500 m.
Compoziție: roci și praf cu crustă de gheață.

Uranus

Axa de rotație se află aproape de planul orbitei (încălinată cu 98° față de pol). Uranus se rotește retrograd, adică în sens opus celui al mișcării de revoluție.



Uranus

Date importante	
Atmosfera	Compoziție: H, He, o relativ importantă proporție de CH_4 ($\approx 3\%$), nori compuși din CH_4 .
Structura internă	Nucleu de metalosilicați cu o manta de gheață bine dezvoltată, având în compoziție H_2O , NH_3 , CH_4 . Temperatura în nucleu este de aproximativ 10 000 K, presiunea de aproximativ $8 \cdot 10^{11}$ Pa.
Inelele	Sistem de inele cu peste 60 de inele individuale, majoritatea foarte subțiri, cu lățimi sub 10 km și margini bine delimitate.

Neptun

Planeta a fost descoperită prin calcul, pe baza perturbațiilor observate la orbita lui Uranus.



Neptun, cu
marea pată
albastră

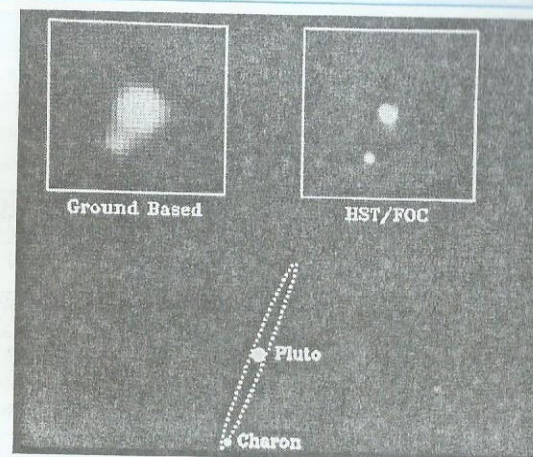
Date importante	
Atmosfera	Marea pată albastră (sau marea pată întunecată), anticlon atmosferic stabil (la fel ca în cazul lui Jupiter), viteza vântului până la 600 km/h. Temperatura la limita superioară a norilor 55 K (Uranus 57 K), posibile surse interne de căldură.
Structura internă	Nucleu Fe-Si cu o mare extindere (probabil 70 % din masa planetei). Axa câmpului magnetic este înclinată cu 50 % față de axa de rotație.
Inelele	Până acum sunt cunoscute trei inele de culoare neagră, constituite probabil din gheață de NH_3 .

Pluto

Cea mai depărtată de Soare dintre planetele cunoscute, aproape de două ori mai mare decât planetoidul Ceres. Până acum, Pluto nu a fost clasificată nici ca planetă jupiteriană, nici ca planetă terestră. Orbita sa o intersectează pe cea a lui Neptun. De aceea, Pluto se află, temporar, mai aproape de Soare decât Neptun (de exemplu între anii 1989 și 2004). Datorită depărtării mari față de Soare, Pluto primește de 2430 ori mai puțină lumină solară decât Pământul. Totuși, el este de 164 ori mai luminat decât este Pământul la lună plină.

Semnificația unor date obținute prin observație:

- probabil o atmosferă foarte rarefiată, ce ajunge cel puțin până la 3200 km înălțime deasupra suprafeței lui Pluto, NH_3 ca gaz în atmosferă sau ca gheață la suprafață;
- probabil calote polare luminoase și zone ecuatoriale întunecate;
- presupusa existență a unui nucleu solid (circa 80% din masa planetei), înconjurat de o manta de gheață de NH_3 .



Pluto și luna sa Charon
(Hubble - Space - Telescope)

LUNA

Sateliții naturali

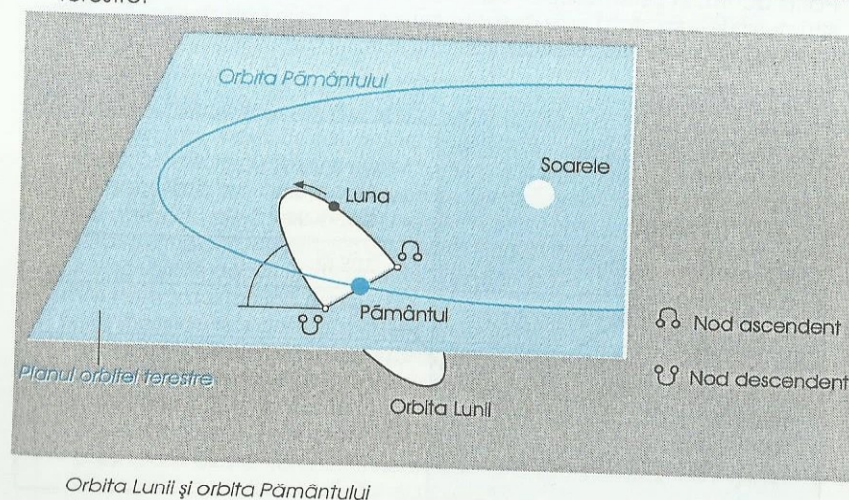
În majoritate corpuri cerești de formă sferică, descriind în general o rotație conformă (în sensul de rotație al planetelor) în câmpul gravitațional al planetelor și al marilor planetoizi și care reflectă o parte a luminii solare. Până acum, în Sistemul Solar sunt cunoscuți 62 de sateliți (1994), a căror structură de suprafață este direct observabilă de pe Pământ. Între aceștia, Luna este unul dintre cei mai mari.

Date importante	
Distanța față de Pământ	
- medie	384 403 km
- maximă (apogeu)	406 740 km
- minimă (perigeu)	356 410 km
Excentricitatea orbitei	0,0549
Înclinația orbitei față de ecliptică	5°9'
Perioada de rotație în jurul Pământului	
- siderală	27,32 zile
- sinodică	29,53 zile
- mișcarea medie zilnică siderală	13,18°

Date importante (continuare)	
Viteza medie pe orbită	1,02 km/s
Raza - medie aparentă - reală	15' 33'' 1738 km = 0,27 ($\approx 1/4$) raze terestre
Masa	$7,350 \cdot 10^{22}$ kg = 1/81 mase terestre
Volumul	$2,192 \cdot 10^{25}$ cm ³
Densitatea medie	3,34 g/cm ³ = 0,60 densități terestre
Accelerația gravitațională la suprafață	1,62 m/s ² = 16,6% din valoarea terestră
Viteza de evadare la suprafață	2,38 km/s
Strălucirea (la lună plină)	-12,7 ^m
Albedoul mediu	0,07
Temperatura la suprafață - fața luminată - fața întunecată	≈ 400 K ≈ 130 K

Mișcările Lunii

Luna se mișcă în jurul Pământului pe o orbită eliptică, având o excentricitate redusă. Planul orbitei lunare este înclinat cu 5°9' față de planul orbitei terestre.



Orbita Lunii și orbita Pământului

Pentru un observator aflat la latitudinea de 50° N, Luna are o înălțime maximă (înălțime de culminație) de cca. 69° (Soarele - 64°) și o înălțime minimă de 12° (Soarele de aproximativ 17°) deasupra orizontului.

Punctele de intersecție ale orbitei terestre cu orbita Lunii poartă numele de nod ascendent, respectiv nod descendent. Linia care unește nodurile poartă numele de linie nodală.

Perioada de revoluție siderală (luna siderală). Perioada de timp scursă între două treceri succesive prin cercul orar al unei stele. Acesta reprezintă 27,32 zile.

Perioada de revoluție sinodică (luna sinodică). Perioada de timp scursă între două faze de Lună identice consecutive (ex. faza de Lună plină). Ea reprezintă 29,53 zile, întrucât revoluția Lunii este prelungită de rotația Pământului în jurul Soarelui. Luna calendaristică măsurată după perioada de revoluție a Lunii este o importantă unitate de timp în teoria calendarului.

Mișcările Lunii pentru observatorul terestru	
Reflectarea mișcării de rotație a Pământului	Reflectare a mișcării Lunii în jurul Pământului
Participarea Lunii la mișcarea zilnică aparentă a sferei cerești de la est, prin sud, către vest.	Mișcarea zilnică a Lunii pe sfera cerească în medie cu 13,5° de la vest, prin sud, spre est.

Datorită mișcării contrare de rotație, Luna răsare, de la zi la zi, cu 50 min. întârziere.

↗ Mișcarea zilnică a stelelor, p. 29.

Rotația combinată

Este perioada de rotație a Lunii în jurul axei sale, care corespunde rotației Lunii în jurul Pământului. De aceea, pentru un observator terestru este vizibilă întotdeauna aceeași față a Lunii.

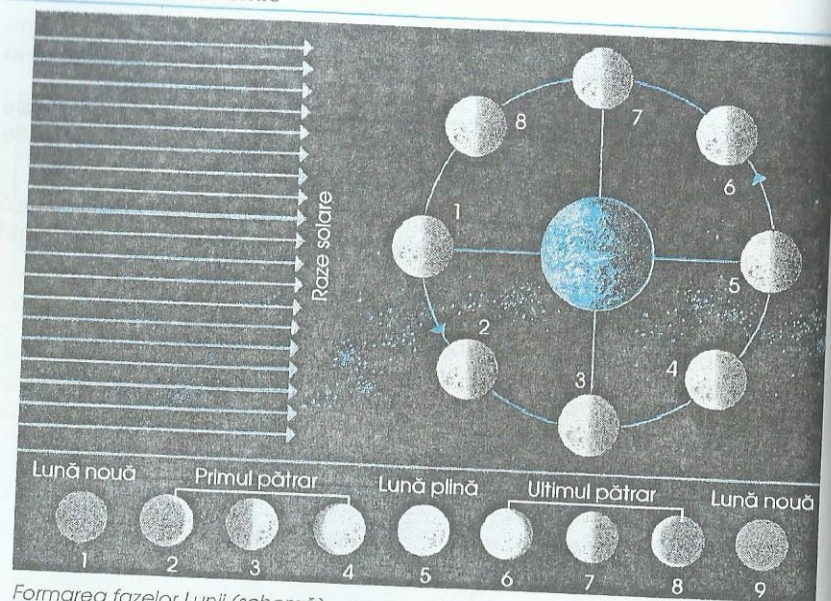
Ca urmare a rotației combinate și a vitezei uniforme de deplasare pe orbită, de pe Pământ se observă 59% din suprafața Lunii. Prin intermediul sondelor spațiale au fost observate și structurile de suprafață de pe partea ce este în permanență invizibilă de pe Pământ.

Fazele Lunii

Formele zonei luminate a Lunii care iau naștere ca urmare a schimbării periodice a poziției în timpul rotației în jurul Pământului, relativ la Pământ și Soare. Prin aceasta, fața vizibilă a Lunii este iluminată în mod diferit.

Vârsta selenară. Perioadă de timp scursă de la ultima lună nouă.

Lumina cenușie. Lumină slabă, de culoare cenușie (lumină terestră), apărută pe porțiunea întunecată a Lunii cu puține zile înainte sau după luna nouă, datorată reflectării razelor Soarelui de către Pământ.



Formarea fazelor Lunii (schemă)

sus: formarea fazelor Lunii; jos: fazele Lunii pentru un observator de pe Pământ

Eclipsele

Umbriri produse de Pământ și de Lună. Acestea apar când Luna se găsește în faza de Lună plină sau de Lună nouă și, concomitent, se află în apropierea unuia dintre nodurile sale.

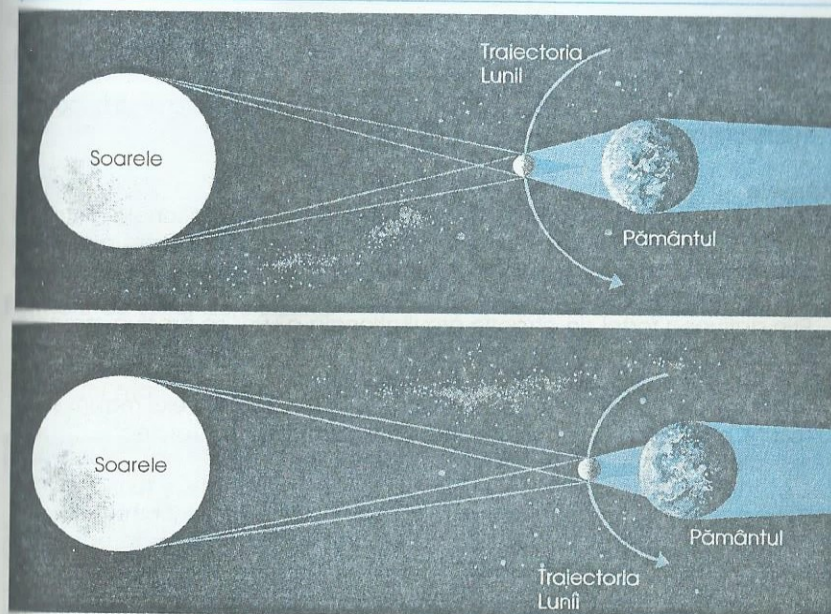
➤ Mișcările Lunii, p. 76.

Eclipsele de Soare. Apar atunci când Pământul, la Lună nouă, traversează conul de umbră al Lunii.

La **eclipsele totale de Soare**, pentru observatorul terestru, discul solar este acoperit în totalitate de Lună. Întrucât conul de umbră acoperă suprafața Pământului pe o lățime de maximum 273 km și se deplasează de la vest la est, în medie cu 35 km/minut, eclipsa totală de Soare este vizibilă doar pe o porțiune restrânsă a suprafeței terestre și pentru un timp scurt (maxim 7,6 minute). Atunci când Luna se află la o depărtare relativ mare față de Pământ, conul de umbră al Lunii nu poate atinge suprafața terestră, diametrul său aparent este mai mic decât cel al Soarelui. Pentru observatorul de pe Pământ la naștere o **eclipsă inelară** de Soare.

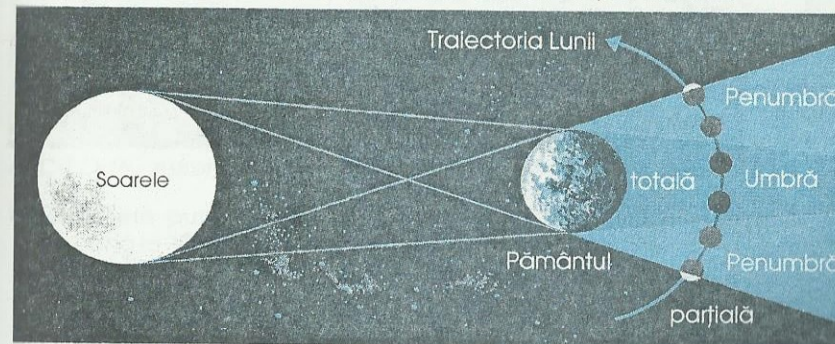
La **eclipsele parțiale**, pentru observatorul de pe Pământ este acoperită doar o parte a discului solar. Întrucât penumbra se formează în ambele părți ale zonei de totalitate, eclipsa parțială de Soare poate fi observată pe teritorii mult mai extinse.

Anual se produc de regulă două – trei eclipse solare. În mod excepțional, în unii ani se pot produce cinci eclipse de Soare (de exemplu, în 2206).



Eclipse solare; Sus: eclipsă inelară – Jos: eclipsă totală

Eclipsele de Lună. Se produc atunci când Luna trece prin conul de umbră al Pământului. Asemenea eclipse sunt vizibile din întreaga emisferă terestră opusă Soarelui în momentul respectiv. Durata totală a lor ajunge la 3,5 h. Conul de umbră al Pământului este iluminat și are o culoare roșu-cărămizie. Aceasta se datorează refractării luminii roșii solare de undă lungă și a împrăștierei și absorbirii luminii albastre de undă scurtă. Atunci când Luna se află la o depărtare mai mare de nodurile sale, doar o parte a discului selenar intră în conul de umbră al Pământului. Astfel se produce o eclipsă parțială de Lună. Anual se produc circa două eclipse de Lună.



Eclipsă de Lună

Ciclul Saros. Poziția relativă a Soarelui, Pământului și Lunii, unul față de celălalt; se repetă aproape exact după 18 ani și 10,5, respectiv 11,3 zile (în funcție de numărul anilor bisecți).

Ca urmare, eclipsele se repetă în același ciclu, fapt ce le era deja cunoscut în antichitate babilonienilor.

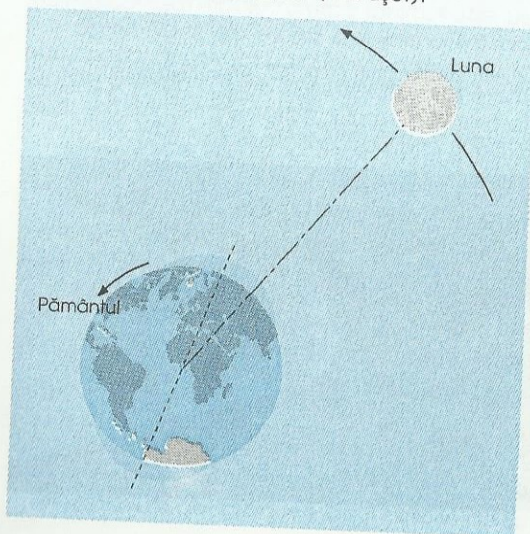
Mareele

Ca urmare a apropierii față de Pământ, atracția gravitațională a Lunii (și într-o mai mică măsură chiar și a Soarelui), produce o mișcare periodică de urcare – coborâre a hidrosferei terestre (iar, cu amplitudini mai mici, și a atmosferei și litosferei).

Prin acțiunea forței de atracție gravitațională a Lunii se produc mareele. La un interval de 12 h și 25 min se succed două stadii, acela al apelor ridicate (fluxul) și acela al celor scăzute (refluxul).

Intervalul de 12 h și 25 min poartă numele de maree. Nivelul maxim și cel minim al apelor sunt desemnate ca „apele înalte”, respectiv „apele scăzute”.

Cauza generării mareelor o reprezintă forțele de atracție și forțele centrifuge exercitate de Pământ și Lună, care se deplasează în jurul unui centru de greutate aflat în interiorul Pământului. Prin acest proces la naștere o forță centrifugă, ce se suprapune forței de atracție. Aceasta este mai mare pe partea situată spre Lună, decât pe partea opusă Lunii. Prin aceasta apar două maximumuri, pe „dedesubtul” cărora se rotește zilnic Pământul. La Lună plină și la Lună nouă, forța de atracție a Soarelui, ce se adaugă în ecuație, generează o maree înaltă. În primul și în ultimul pătrar, forța de atracție a Soarelui micșorează amplitudinea mareelor (flux ușor).



Acțiunea mareelor

Caracteristicile fizice ale Lunii

Acestea sunt, datorită masei mici a Lunii, fundamental diferite de cele ale Pământului.

Ceea ce nu există pe Lună	– atmosferă – lumină difuză – apă – fenomene meteorologice – eroziune prin apă și vânt – sedimentare – sunete
---------------------------	---

Formele de relief de pe Lună

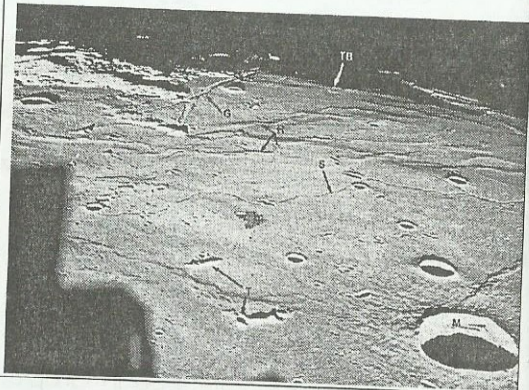
Întrucât Luna nu are atmosferă și este cel mai apropiat corp ceresc, pe suprafața sa pot fi observate, chiar cu ochiul liber, regiuni mai luminoase și regiuni mai întunecate. Folosind o lunetă, regiunile mai luminoase se dovedesc a fi munți, iar cele întunecate – vaste câmpii.

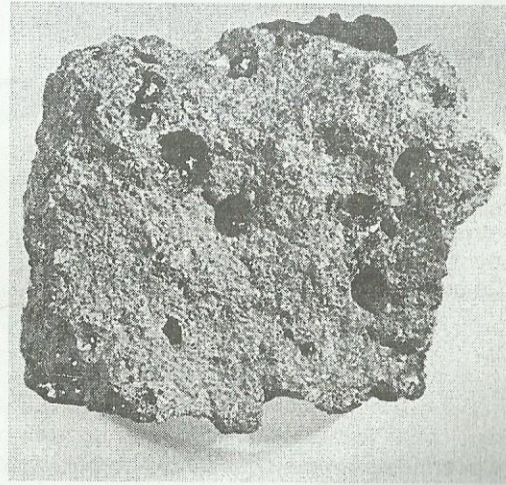


APOLLO 16 - Astronaul Duke recoltează roci selenare

- Cu lunete puternice pot fi observate chiar și detalii cu dimensiuni de până la 100 – 200 m.

Misiunile spațiale care au ajuns pe Lună au fotografiat fața ascunsă a satelitului nostru natural și au adus pe Pământ probe de rocă pentru investigații științifice. Prin aselenizarea astronautilor au putut fi cercetate direct porțiuni limitate ale suprafeței celui mai apropiat corp ceresc de Pământ.

Forme de relief selenare	Caracteristici
Structura de bază	
Mări selenare maria (lat. mări)	Câmpii întinse, acoperind circa 3/10 din fața vizibilă și 1/10 din fața invizibilă a Lunii. 
Continente selenare	Regiuni cu râpe și prăpăstii, acoperind 7/10 din fața vizibilă și 9/10 din fața invizibilă a Lunii.
Lațuri muntoase	Munți asemănători lanțurilor muntoase de pe Terra, la marginea mărilor (înălțimi de până la 6000 m deasupra nivelului mediu al suprafeței selenare).
Cratere – formă de relief foarte răspândită pe suprafața Lunii, îndeosebi în regiunile continentale. Pe fața vizibilă a Lunii se află circa 300 000 de cratere.	Depresiuni circulare, de diferite mărimi, având adesea un fund foarte plat, aflat la altitudine mai mică decât regiunile învecinate craterului. Craterele sunt înconjurate de un perete inelar. Deseori, în mijloc se află un munte central. 

Forme de relief selenare	Caracteristici
Structura de bază	
Munți circulari	Cratere mari înconjurate de un „perete” de câțiva km înălțime și cu un diametru de până la 200 km.
Sisteme de radiații	Radiații luminoase radiale, rectilinii sau curbate care pun în evidență umbre de intensitate redusă și traversează mările și continentele, cea mai mare dezvoltare a lor atingând 1800 km.
Șanțuri	Întâlnite în mări și la marginea acestora (până la 10 km lățime, peste 100 m adâncime și mai mult de 100 km lungime).
Compoziția	
Solul lunar	Strat de alterație (regolit), de 6–12 m grosime, compus din: – spărtură fină și de mari dimensiuni; – praf; – particule stâncoase. Bazalt în stratul de lavă întărit ce acoperă mările.
Roca lunară	 Probă de rocă adusă de astronauți pe Pământ



Fața vizibilă a Lunii



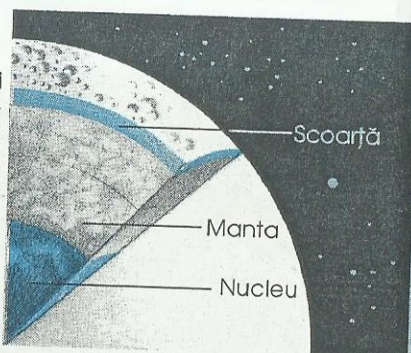
Fața invizibilă a Lunii

Formarea suprafeței selenare. Forțele exogene (impactul meteoriților) și procesele endogene (vulcanismul) au dus la modelarea suprafeței Lunii. Mările și craterele au luat cu siguranță naștere în „preistoria” satelitului natural al Pământului datorită ciocnirii cu corpuri cu masă mare și densitate ridicată. Ulterior, mările au fost umplute cu lavă bazaltică, aceasta ajungând la suprafață ca urmare a proceselor de topire ce se desfășurau în interiorul Lunii. Acumularea de roci cu densitate ridicată pe suprafața mărilor a dus la concentrări de masă (mascons); acestea sunt responsabile pentru anomaliile locale gravitaționale înregistrate pe suprafața satelitului nostru natural. În afara unor emanații de gaze, pe Lună nu mai există, se pare, activitate vulcanică. Suprafața Lunii, formată cu mult timp în urmă, a fost treptat transformată de micrometeoriți, radiația cosmică și vântul solar în regolit.

Teorii moderne, p. 97.

Structura internă a Lunii

Structură asemănătoare Pământului (învelișuri). Luna este formată, în principal, dintr-un înveliș de rocă solidă (litosferă). Probabil, la începutul evoluției Lunii, în centru s-a format și un nucleu metalic.



Structura internă a Lunii

Cutremurele lunare. Oscilații ale corpului Lunii, determinate de impactul cu meteoriții și de procesele endogene. Spre deosebire de cutremurele terestre, cutremurele de pe Lună durează adesea ore întregi.

SATELIȚII CELORLALTE PLANETE

Cu excepția planetelor Mercur și Venus, în jurul tuturor planetelor din Sistemul Solar se rotesc sateliți.

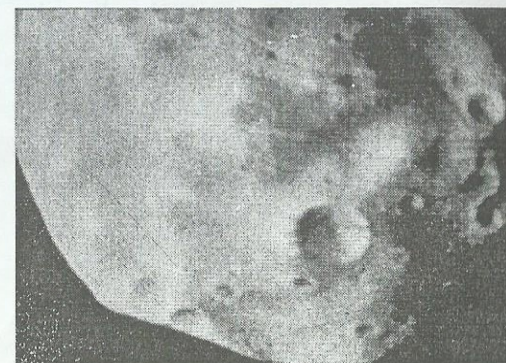
☛ Sateliți naturali, p. 75.

Sateții lui Marte

Sateliții lui Marte			
Nume	Distanța medie față de planetă (în 10 ³ km)	Perioada de rotație în jurul planetei (în zile)	Dimensiunile (în km)
Phobos	9,4	0,32	27 × 21 × 18
Deimos	23,5	1,26	15 × 12 × 10

Corpuri cerești cu formă neregulată, cu o suprafață bogată în cratere (în parte cratere relativ mari), constituite din roci a căror culoare este cenușiu-închis. Suprafețele lor sunt acoperite cu regolit. Phobos este acoperit cu un strat întunecat de praf și prezintă lungi încrețituri întunecate.

■ Cele două mari cratere de pe Phobos au diametrul de 12 km (Stickney), respectiv 5 km (Hall).



Phobos

Sateții planetelor jupiteriene

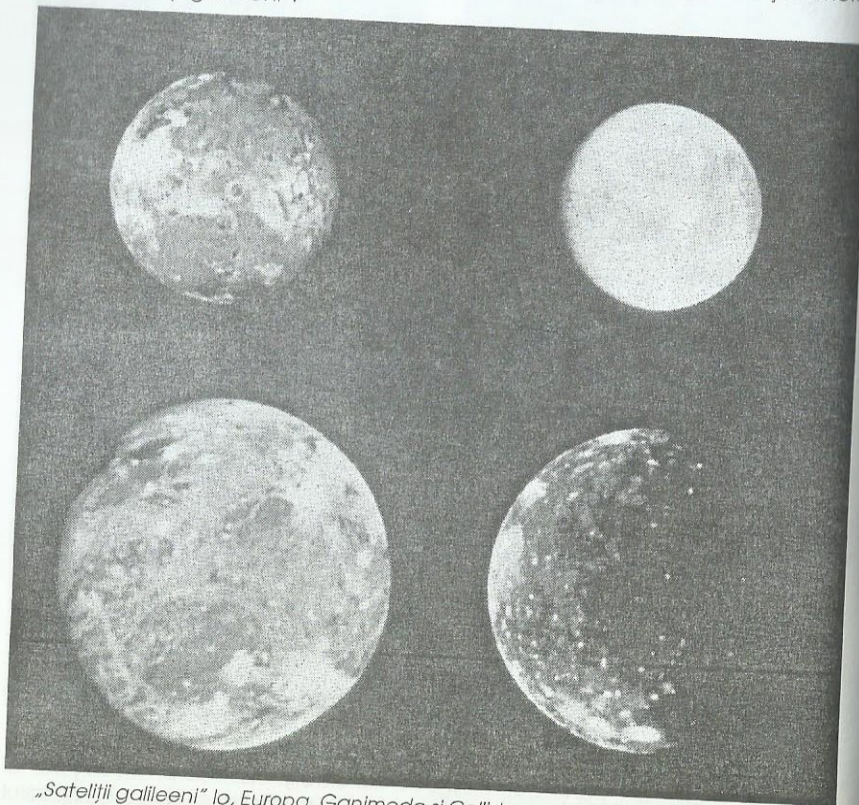
Până acum sunt cunoscuți peste 55 de sateliți care se învârt în jurul lui Jupiter, Saturn, Uranus și Neptun. Cel mai mulți au fost descoperiți cu ajutorul sondelor spațiale.

Numele planetei	Numărul de sateliți
Jupiter	cel puțin 16
Saturn	cel puțin 17 (număr probabil 23)
Uranus	cel puțin 15
Neptun	cel puțin 8 (6 sateliți pitici)

Sateții cu raze mari au apărut cu siguranță în același timp cu planetele respective și formează împreună cu acestea un sistem ordonat. Sateții cu raze mici sunt probabil fosta corpuri planetare de mici dimensiuni, atrase de câmpul gravitațional al planetelor. Unii prezintă forme neregulate.

Sateliții lui Jupiter

Jupiter prezintă un sistem de sateliți. Din cei 16 sateliți cunoscuți ai lui Jupiter, cei mai mari sunt Io, Europa, Ganimede și Callisto. Ei au fost descoperiți încă din anul 1600 de către Galilei și, din această cauză, poartă și numele de „sateliți galileeni”.



„Sateliți galileeni” Io, Europa, Ganimede și Callisto

Mărimi caracteristice ale „sateliților galileeni”					
Nume	Distanța față de Jupiter (în 10^3 km)	Perioada de rotație în jurul planetei (în zile)	Diametrul (în km)	Masa (în mase lunare)	Densitatea medie (în densități ale apei)
Io	421,6	1,77	3632	1,21	3,53
Europa	670,9	3,55	3126	0,66	3,03
Ganimede	1070	7,16	5276	2,03	1,93
Callisto	1883	16,69	4820	1,45	1,81

Caracteristici fizice ale „sateliților galileeni”

Io. Atmosferă rarefiată. Continuă activitatea vulcanică (în anul 1979 au fost observați 6 până la 8 vulcani activi). Curenți de lavă de peste 100 km, probabil doar depozite de sulf.

Europa. Manta subțire din gheață de apă (posibil 100 km grosime) peste un nucleu de silicați. Nici o neregularitate a suprafeței, formă sferică ideală. Suprafața prezintă o rețea de formațiuni lineare (sistem de încrețituri).

Ganimede. Suprafața în parte bogată, în parte săracă în cratere. Deasupra o manta compusă din gheață de apă. Numeroase încrețituri paralele, de 300 până la 400 m adâncime și cu o lățime de 100 până la 200 m.

Callisto. Crustă de nămol constituită din material meteoric compus din silicați. Numeroase cratere de impact.

Sateliții lui Saturn

La Saturn sunt cunoscuți 17 sateliți, dar, probabil, numărul lor este de 23.

Mărimi și caracteristici				
Nume	Depărtarea față de planetă (în 10^3 km)	Perioada de rotație în jurul planetei (în zile)	Diametrul (în km)	Caracteristici fizice
Titon	1221,8	15,95	5150	Atmosferă densă, cu mulți nori, compusă din N_2 (85 %), Ar (12 %), CH_4 (3 %). Temperatura la suprafață de circa 90 K (ocean de CH_4 lichid)
Mimas	185,7	0,942	390	Crater cu un diametru de până la 100 km
Tethys	294,0	1,888	1050	Crater de impact
Dione	377,5	2,737	1120	Crater de impact
Rhea	527,1	4,518	1530	Crater de impact

Sateliții lui Uranus

După datele actuale, Uranus are 15 sateliți. Cinci dintre sateliți au un diametru relativ mare (Titania: 1610 km, Oberon: 1550 km, Umbriel: 1190 km, Ariel: 1160 km, Miranda: 484 km).

Marii sateliți sunt corpuri de gheață cu un nucleu compus din silicați. Pe lângă gheață de H_2O , pe acești sateliți apare, probabil, și gheață de NH_3 și CH_4 . Acești sateliți prezintă, de asemenea, numeroase cratere.

Sateliții lui Neptun

Sunt cunoscuți opt sateliți ai lui Neptun. Doi dintre ei au fost descoperiți cu ajutorul telescopului, iar șase prin intermediul sondelor spațiale. Sateliții descoperiți de sondele spațiale au o suprafață neregulată și sunt așa-numiți sateliți - pitici. Diametrul lor este cuprins între 50 și 420 km.



Satelitul Triton al lui Neptun

Cel mai interesant satelit al lui Neptun este Triton, cu un diametru de 2 720 km și o densitate de $2,08 \text{ g/cm}^3$. Perioada sa de rotație în jurul planetei este de 5,9 zile, iar raza orbitei sale de 354 590 km. Triton are o atmosferă compusă din CH_4 și NH_3 . Suprafața prezintă grabene, stânci, ca și forme de relief pozitive ce se înalță până la 1000 m. Ea este acoperită cu gheață de H_2O și probabil cu un strat subțire de CH_4 și NH_3 . Sondele spațiale au detectat pe Triton două gheizere, care își proiectează conținutul de azot până la 8 km înălțime.

Satelitul lui Pluto

Până acum a fost descoperit un singur satelit al lui Pluto, care a primit numele de Charon. Raportul dintre masele lui Pluto și Charon, de 9:1, este unic în Sistemul Solar. De aceea, planeta și satelitul său mai poartă și denumirea de sistemul Pluto-Charon.



Pluto și satelitul său, Charon

Câteva date despre satelitul Charon

Distanța față de Pluto (în 10^3 km)	probabil 18×2
Perioadă de rotație în jurul planetei (în zile)	6,38
Diametrul (în km)	probabil 1160×100

PLANETOIZII

Mici planete, numite și asteroizi, din care doar cei mai mari au o formă sferică, majoritatea având formă neregulată, asemănătoare celei a blocurilor de stâncă. În general, ei evoluează în jurul Soarelui într-un brâu plasat între orbitele planetelor Marte și Jupiter.

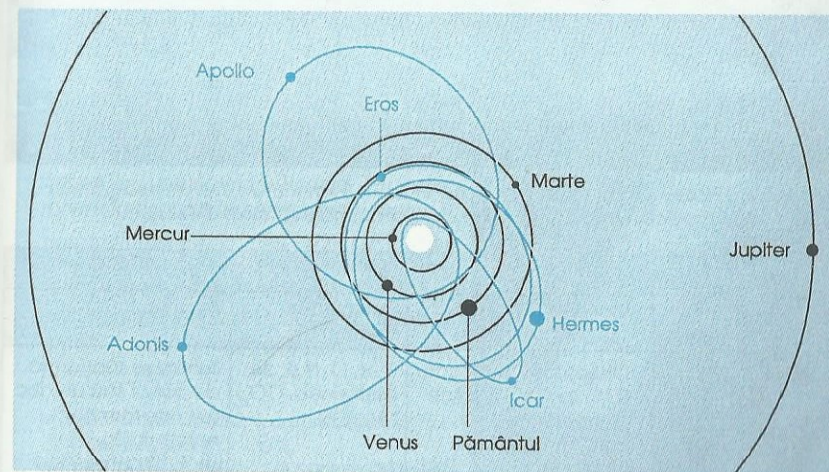
Mărime, număr, masă

Diametrul planetoizilor cunoscuți variază între 1023 km (Ceres) și aproximativ 200 m (6344 P-L). Se apreciază că există circa un milion de planetoizi al căror diametru nu depășește 60 km. Masa totală a planetoizilor este de circa $4 \cdot 10^{24} \text{ g}$ (5% din masa lunară). Până astăzi, au fost înregistrați aproximativ 3 500 de planetoizi.

Cei mai mari planetoizi				
Nume	Diametrul (în km)	Masa (în kg)	Densitatea (în g/cm^3)	Perioada de rotație (în ore)
Ceres	1023	$1,2 \times 10^{21}$	2,3	9,08
Pallas	692	$2,1 \times 10^{21}$	2,6	7,88
Vesta	579	$2,7 \times 10^{20}$	3,3	5,30

Distribuție și orbite

Planetoizii se mișcă în jurul Soarelui pe orbite elipsoidale, cu o excentricitate generală redusă. Distanța lor medie față de Soare este de cca. 2,9 UA, iar perioada de revoluție medie este cuprinsă între 3,2 și 7 ani. Cele mai multe orbite ale planetoizilor se află între Marte și Jupiter. Există asteroizi care intersectează și orbitele altor planete, printre care și Pământul.

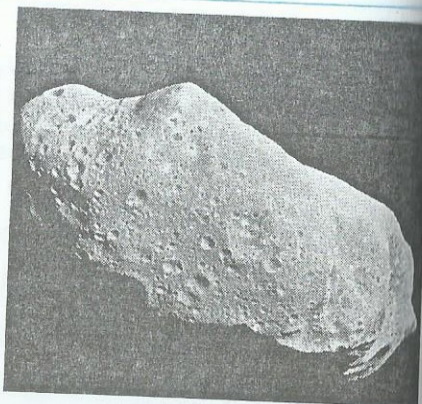


Orbitele unor planetoizi

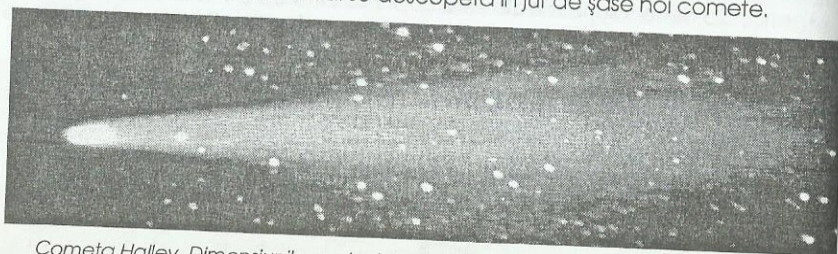
Structura

Planetoizii observați prezintă pe suprafața lor numeroase mici cratere și șanțuri. Planetoizii sunt compuși din derivați ai carbonului, silicați sau metale.

Planetoidul „243 Ida”. Suprafața sa este punctată de numeroase cratere. Pot fi distinse detalii cu un diametru de până la 30 m. Planetoidul are o lungime de cca. 52 km. Imagine datorată sondei spațiale GALILEO.

**COMETELE****Caracteristici**

Cometele, numite și „stele pletoase” sau „stele cu coadă”, sunt mici corpuri cerești, compuse din gaze, gheață și mici particule asemănătoare meteoritilor. La o distanță suficientă de Soare, coama, în al cărei centru se găsește nucleul cometei, devine mai mare și mai luminoasă. La cele mai multe comete se formează apoi una sau chiar mai multe cozi vizibile. Până acum sunt cunoscute peste 700 de comete. Anual se descoperă în jur de șase noi comete.



Cometa Halley. Dimensiunile nucleului: 15 km x 8 km x 8 km. Densitatea gazului: $10^4 \dots 10^6$ molecule pe cm^3 . Imagine datorată sondei spațiale GALILEO.

Structura cometelor			
Parte componentă	Material, fenomene	Compoziție chimică	Apariție
Nucleu	Gheață de apă (cca. 80%), particule solide înghețate cu praf, crustă întunecată; Masă: cca $10^{10} \dots 10^{15}$ t.	C, H, O, N și, de asemenea, CO_2 , NH_3 , CH_4	Iluminare sub formă de punct sau de disc (sau de formă neregulată), strălucind în lumina solară reflectată.

Structura cometelor			
Parte componentă	Material, fenomene	Compoziție chimică	Apariție
Coamă	Nori de gaz cu particule meteoritice, urmare a degazeificării nucleului la apropierea cometei față de Soare. Diametru: $10^3 \dots 10^7$ km.	În special OH, NH, CN, C_2 , CO^+ , N_2^+ , CH^+	Pată fibrilară care, la apropierea de Soare, devine tot mai mare și mai luminoasă, lumină reflectată de particulele de gaz și de praf.
Coadă	Materie îndepărtată din capul cometei de către vântul solar și presiunea radiației solare.		Apariție luminoasă datorată Soarelui; nu este vizibilă la toate cometele.

Coadă de gaze (coada ionică). Molecule ionizate, îndepărtate din capul cometei. Până la 10^8 km lungime și 10^6 km lățime.

Coadă de praf. Particule solide desprinse din capul cometei. Coadă, în acest caz, are în general o formă curbată.

Orbitele

În general elipse mult alungite, cu o foarte mare excentricitate. Perturbațiile gravitaționale produse de stelele apropiate de Soare și de planete pot modifica orbita cometelor. După durata mișcării de rotație în jurul Soarelui, se deosebesc perioade lungi (de peste 200 de ani) și perioade scurte (sub 200 de ani). Orbita cometelor cu perioadă lungă ajunge, probabil, până în spațiul interstelar.

- Cunoscuta cometă Halley are o mișcare de revoluție de 76,08 ani. Cea mai scurtă perioadă cunoscută până acum aparține cometei Encke, și este de 3,31 ani.

Alcătuirea schematică a unei comete, cu nucleu, coamă și coadă. Săgeata arată direcția în care se găsește Soarele.



Familii de comete. Totalitatea acelor comete ale căror orbite ajung până în vecinătatea unei mari planete. Ele iau naștere prin perturbații ale orbitelor, datorate planetelor cu masă mare.

- Familia Jupiter: circa 68 de comete cu o perioadă de revoluție cuprinsă între 5 și 11 ani

Volatilizarea

La fiecare apropiere de Soare, cometele pierd din materialul care intră în componența lor. De aceea, ele sunt obiecte cu o viață relativ scurtă. Durata vieții unei comete cu perioadă scurtă este apreciată la câteva sute de mii de ani. Cometele se descompun treptat în gaze și praf. Ele se pot sparge într-un număr de comete mai mici, sau pot să se transforme într-un corp mic și întunecat, devenind un planetoid.

METEORII, METEORIȚII

Meteorii

Stelele căzătoare, observabile ca fenomene luminoase pe bolta cerească. Apar atunci când particule de praf interplanetar sau mici meteoriți se aprind, prin frecare cu atmosfera terestră, la înălțimi cuprinse, în general, între 90 și 100 km. Meteorii mai luminoși decât cei din clasa de mărime -4^m sunt denumiți *sferă de foc* (bolzi).

Într-o noapte senină, fără lună, pot fi observați cu ochiul liber circa șase până la opt meteori pe oră.



Sferă de foc

Ploile de meteori

Roiuri de meteori care, spre exemplu, se mișcă pe orbita unei comete periodice distruse. Când orbita Pământului intersectează orbita roiului de meteori, prezența meteorilor pentru un observator de pe Pământ e mai vizibilă. Urmele luminoase ale unei ploii de meteori provin aparent dintr-un anumit punct al bolții cerești, denumit punct radiant. Poziția sa este determinată atât de direcția de mișcare a ploii de meteori, cât și de direcția de mișcare a Pământului pe orbita sa.

Ploile de meteori sunt adesea denumite după numele latin al constelației în care se găsește punctul lor radiant.

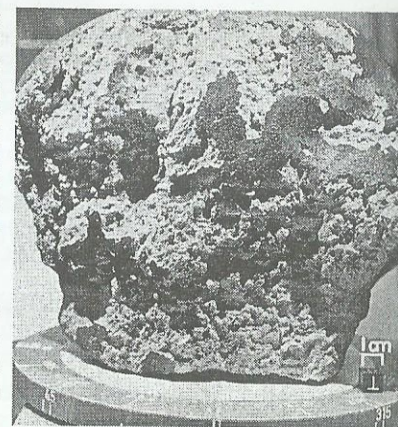
Câteva ploii de meteori cunoscute

Nume	Durata aproximativă a vizibilității	Momentul maximei străluciri	Numărul de meteori pe oră (vizual)
Quadrantide	1.01 până la 4.01	3.01	40
Lyride	20.04 până la 23.04	21.04	8
Perseide	29.07 până la 17.08	12.08	40
Leonide	11.11 până la 20.11	17.11	6
Geminide	6.12 până la 16.12	12.12	60

Meteoriții

Mici corpuri solide, de mărimi diferite, care se învârt pe orbite eliptice în jurul Soarelui. Prin pătrunderea în atmosfera terestră, cei mai mulți meteoriți se volatilizează. Cei mai mari dintre ei ating suprafața planetei. Masa unui meteorit este mai mică decât cea a unui planetoid, dar mai mare decât a unei molecule.

Origine. Se face deosebire între meteoriți ce provin din comete distruse și meteoriți planetari, care sunt resturi ale coliziunilor dintre planetoizi.



Meteorit compus din fier

Câteva date despre meteoriți și fenomenele la care aceștia dau naștere

Fenomenul	Diametrul (în mm)	Masa	Masa totală (în tone) care atinge suprafața terestră pe durata unei zile
Sferă de foc, căderi de meteoriți	> 10	> 2 g	1
Stele căzătoare până la 6^m	1 până la 10	2 mg până la 2 g	5
Meteori telescopici	0,1 până la 1	0,002 mg până la 2 mg	20
Micrometeori	< 0,1	< 0,002 mg	10^3 până la 10^4

Repartizând uniform pe întreaga suprafață terestră cantitatea de material meteoric căzută, obținem o creștere anuală a masei de 0,7 până la 7 kg pe km^2 .

Tipuri de meteoriți. Compoziția chimică a meteoriților						
Tipul și frecvența descoperirii (în %) ¹⁾	Compoziția chimică în % față de masa totală					
	Fe	Ni	Si	Mg	O	Co
Ferometeoriti (66)	90,8	8,6	—	—	—	0,6
Litometeoriti (26,5)	20,5	1,1	20,6	15,8	42	—
Fero-litometeoriti (7,5)	55,7	5,4	8,0	12,3	18,6	—

1) Datele se bazează pe frecvența descoperirilor. În realitate, cad mai mulți litometeoriti (93,5%) decât ferometeoriti (5%). Primii însă se degradează foarte repede, iar ultimii foarte încet.

3

Condritele. Mici sfere din silicat, cu un diametru de circa 1 mm. O subgrupă o constituie condritele carbonice, cu un mare conținut de carbon.

Vârsta. Timpul scurs din momentul formării meteoriților. Vârsta litometeoritiilor este de circa 4×10^9 – 5×10^9 ani.

Vârsta radiativă. Perioada de timp scursă din momentul în care corpul a fost expus radiației cosmice. Aceasta este de:

– 10^8 până la 10^9 ani la ferometeoriti;

– 10^6 până la 10^8 ani la litometeoriti.

↗ Sistemul Solar, p. 96;

↗ Stabilirea vârstei proceselor cosmice, p. 161.

Descoperiri de meteoriți

Printre meteoriții ajunși pe suprafața Pământului, au fost găsiți litometeoriti cu o masă de până la o tonă. Cel mai mare ferometeorit cunoscut are o masă de circa 60 t. Meteoriții cu masa de peste 100 t se volatilizează la impact. Rămân doar mici urme de material meteoritic.

Câteva locuri în care au fost descoperiți ferometeoriti	
Locul	Masa în tone
Campo de Cielo (Argentina)	13
Mundrabilla (Australia)	12
Bacuberito (Mexic)	27

- În Antarctica au fost descoperiți meteoriți a căror compoziție este asemănătoare cu a solului Lunii sau al lui Marte.

- Mare crater meteoritic: craterul Cannon Diablo, din Arizona. Diametrul 1265 m, adâncimea 174 m, circa 30 t de material meteoritic descoperit; masa presupusă a meteoritului a fost de 107 t, diametrul de 150 m. Impactul meteoritic a avut loc probabil acum 20 000 de ani.

- Ries-Kessel (Germania) – diametru de 25 km; căderea meteoritică s-a produs în urmă cu circa $1,5 \times 10^7$ ani.

- În Tunguska (Siberia), în 1908 a explodat deasupra suprafeței terestre un obiect cosmic (meteorit de mari dimensiuni sau nucleul unei comete?) care a provocat distrugerea totală a pădurii pe o rază de 65 km.

MATERIA INTERPLANETARĂ

Denumire pentru gazul, plasma și praful cu un diametru de până la 1 mm aflate în Sistemul Solar, adică în câmpul gravitațional al Soarelui.

Gazul interplanetar și plasma interplanetară

Există ca produse reziduale din timpul formării Sistemului Solar, ca vânt solar (plasmă ionizată și particule eliberate în perioada erupțiilor solare) și ca gaz interstelar (H, He), atras de câmpul gravitațional al Soarelui.

Praful interplanetar

Particule de praf de aproximativ 1 mm diametru, adesea desemnate ca micrometeoriti. El ia naștere din ciocnirea planetolizilor, prin eliberarea de către comete în apropierea Soarelui a particulelor solide aflate în componența nucleului și coamei, ca și prin pătrunderea în Sistemul Solar a prafului interstelar (proces până acum puțin cunoscut).

- Misiunea spațială care a avut drept țintă cometa Halley a scos în evidență faptul că acest corp, la o distanță de 0,9 UA față de Soare, eliberează până la 20 de tone de praf pe secundă. Zilnic, pe Pământ cad aproximativ 40 de tone de praf interplanetar.

Lumina zodiacală. Aceasta este un con slab de lumină ce se înalță deasupra orizontului vestic după apusul Soarelui, și deasupra orizontului estic înainte de răsăritul Soarelui.

Acest fenomen se observă cel mai bine la tropice. În emisfera nordică, în condiții favorabile, fenomenul poate fi observat seara, la începutul primăverii, și dimineața, la începutul toamnei. Lumina zodiacală este lumină solară disipată de praful interplanetar (cu dimensiuni de la câțiva μm la 300 μm).



Lumină zodiacală

Norii luminoși. Fenomen datorat prafului interplanetar, ce poate fi observat în lunile de vară, la latitudini cuprinse între 50° și 70° , la înălțimi de până la 85 km. Cauza este frânarea în atmosfera terestră a particulelor de praf.

FORMAREA SISTEMULUI SOLAR

Vârsta Sistemului Solar

Perioada de timp scursă din momentul formării Sistemului Solar, determinată prin:

- Studierea timpului de înjumătățire a unor elemente radioactive (de exemplu U, Th);
 - Analiza rocilor terestre și selenare și a meteoritilor.
- Rezultatul cercetărilor: vârsta Sistemului Solar este de circa $4,6 \cdot 10^9$ ani.

Cosmogonia Sistemului Solar

Reprezentări ale proceselor care au condus la formarea Sistemului Solar. Întrucât în Sistemul Solar există diferite corpuri cerești, măturile privind procesul de formare sunt greu de găsit. În afară de aceasta, observatorul nu-i stă la dispoziție nici un alt sistem asemănător. Există o mulțime de ipoteze, dar nici o teorie sigură. După condițiile inițiale, ipotezele se pot grupa în trei categorii:

– *Ipoteze catastrofice sau mareice;*

Corpurile planetare au apărut prin interacțiunea dintre Soarele deja existent și alte corpuri cerești. Forțele mareice desprind material din Soare și, prin mărirea densității, îl transformă în planete.

– *Ipoteze ale acreției;*

Soarele evoluează printr-un nor interstelar, adună gaze și praf din care, ulterior, se pot eventual forma planetele.

– *Ipoteze evoluționiste;*

Soarele și corpurile planetare au luat naștere toate din același material (nebuloasă primordială).

Teoria Kant – Laplace

Ipoteza nebuloasei a lui Kant (1755)	Ipoteza rotației a lui Laplace (1796)
Concentrația unui mare nor de praf, formarea în centru a Soarelui primordial.	Concentrația unui nor de gaz și de praf ce se rotește uniform, formarea unei nebuloase sub formă de disc (Soarele primordial).
Clocnirea și îndesirea particulelor de praf în domeniile exterioare ale norului.	Mărirea vitezei de rotație a Soarelui primordial, forța gravitației nu mai este suficient de mare, separarea inelelor de gaz și praf ca urmare a forței centrifuge.
Formarea unor bulgări locali, pe care procesele gravitaționale îi transformă treptat în planete.	Creșterea densității în inelele de gaz duce la formarea planetelor.
Materialul constitutiv are o temperatură relativ coborâtă.	Materialul constitutiv are o temperatură relativ ridicată.

Teoriile moderne au la bază aceste ipoteze.

Legile cosmogonice

Legi descoperite ale Sistemului Solar ce pot fi explicate numai prin modul de formare a acestuia.

- Orbitalele quasicirculare ale planetelor se află aproape în același plan.
 - Majoritatea planetelor și sateliților au același sens de rotație, care corespunde cu sensul de rotație al Soarelui.
 - Soarele înglobează aproape întreaga masă a sistemului, corpurile planetare conținând doar cu $1/750$ din masa totală.
 - Soarele posedă doar 2% din impulsul de rotație al sistemului, 98% din impulsul de rotație regăsindu-se în mișcarea de rotație a planetelor în jurul Soarelui.
 - Planetele cu mase mari, raze mari și densități reduse evoluează în domeniul exterior, iar planetele cu mase mici, raze mici și densități mari evoluează în domeniul intern al Sistemului Solar.
 - Relația numerică dintre distanțele planetelor față de Soare este stabilită cu aproximație de către șirul Titius – Bode.
- ✓ Șirul Titius – Bode, p. 51.

Teoriile moderne

Teoriile actuale ale formării Sistemului Solar, completate în special prin rezultatele zborurilor spațiale.

Forma de apariție	Procese, fenomene, urmări
Nebuloasă solară primordială	– Contractia unui nor interstelar format din gaze și praf; – Formarea unei protostele (Soare primordial) în centru, care se rotește din ce în ce mai repede; – Dispunerea materiei sub formă de disc în jurul Soarelui primordial; – Câmpurile magnetice transmit un impuls în continuă creștere de la Soarele primordial la discul solar.
Planetezimatele (mici corpuri din care s-au format planetele)	– Scăderi de temperatură și fluctuații ale densităților în discul solar; – Condensarea gazelor din nebuloasă ca urmare a unor reacții chimice; – Apariția unor particule mai stabile, care se măresc continuu (planetezimate); – Diferențieri în ceea ce privește compoziția chimică și densitatea produselor de condensare în raport cu distanța față de Soare.
Protoplanetele (treaptă anterioară apariției planetelor)	– Coliziuni și contopiri ale planetezimalelor învecinate (acreție); – Creștere rapidă a fragmentelor de sine stătătoare, formarea unui câmp gravitațional propriu.

Forma de apariție	Procese, fenomene, urmări
Protoplanetele (continuare)	- Câmpul magnetic al fragmentelor mari atrage materia condensată învecinată; - Creșterea fragmentelor duce la apariția protoplanetelor; - Căderea planetezimalelor pe suprafața protoplanetelor; - Procesele energetice duc la stratificarea materialului ce intră în componența noilor planete, stratificare aflată în concordanță cu densitățile acestora.
Soarele	- Declanșarea proceselor nucleare; - Contracția Soarelui primordial încetează; - Radiația electromagnetică și radiația de particule a Soarelui favorizează procesele de condensare ce mai au încă loc în discul solar.
Planetele	- Evoluție diferențiată în funcție de modul de formare; - Planetele îndepărtate de Soare au putut, grație mării lor mase, să păstreze mult H și He; - Planetele apropiate de Soare nu au putut, din cauza masei lor reduse, să păstreze atmosfera primordială; - Atmosfera terestră actuală nu este un rest al nebuloasei solare, ci un rezultat al degazeificării terestre și al activității vulcanice; - Eliberarea de oxigen în atmosfera terestră, dezvoltarea vieții.
Pământul	
Satelii	- Mulți sateliți sunt, probabil, planetezimale captate. - Marii sateliți ai planetelor jupitoriene au probabil o istorie asemănătoare cu cea a planetelor terestre; - Ipoteze ale formării Lunii: • condensări produse la nivelul inelului de praf din jurul Pământului; • separarea de Pământul primordial; • formare independentă de Pământ, captură ulterioară.
Planetoizii	Planetezimale a căror creștere a fost blocată de forța de gravitație a planetei Jupiter.
Cometele	Planetezimale în domeniul exterior al Sistemului Solar ce nu s-au putut transforma în corpuri planetare mai mari. Starea fizică și compoziția chimică a nucleului cometelor nu s-au schimbat din momentul formării Sistemului Solar.
Meteorii	Produse datorate coliziunii dintre planetezimale și planetoizi, resturi ale descompunerii cometelor.

Stelele

Stelele

Corpuri cerești care emit lumină și care își obțin energia, de-a lungul evoluției lor, în urma procesului de fuziune nucleară. Sfere de gaz de masă mare și cu o temperatură înaltă, a căror integritate fizică este menținută prin propria forță de gravitație.

SOARELE

Soarele

Cea mai apropiată stea de Pământ. Soarele este o sferă de gaz a cărei integritate fizică este menținută prin propria gravitație.

Caracteristicile fizice ale Soarelui		
Diametru	1 392 520 km	aproximativ 109 diametre terestre
Volum	$1414 \cdot 10^{15} \text{ km}^3$	aproximativ 1300000 volume terestre
Suprafață	$6092 \cdot 10^9 \text{ km}^2$	aproximativ 12000 suprafețe terestre
Masă	$1989 \cdot 10^{27} \text{ kg}$	333000 mase terestre
Densitate medie	$1,409 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$	circa 1/4 din densitatea medie a Pământului
Accelerația gravitațională la suprafață	$274 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$	de circa 28 ori mai mare decât valoarea măsurată la suprafața Pământului
Temperatura la suprafață	5777 K	punctul de fierbere al fierului: 3270 K
Durata medie a perioadei de rotație - siderală - sinodică	25,4 zile 27,3 zile	aceeași direcție de rotație ca al Pământului și același sens de rotație ca al planetelor
Luminozitate	$384,5 \cdot 10^{24} \text{ W}$	din care Pământul primește 0,000 000 05 %
Producția medie de energie	$1,934 \cdot 10^{-3} \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$	

Caracteristicile fizice ale Soarelui (continuare)		
Magnitudine - absolută (bolom.) - aparentă	4,74 ^m - 26,83 ^m	de 450 000 de ori mai strălucitor decât Luna plină
Clasa spectrală	G2	stele de același tip: α Centauri A
Câmp magnetic - general - în pete	$5 \cdot 10^{-4}$ T $5 \cdot 10^{-1}$ T	de 10 până la 10 000 ori mai puternic decât câmpul magnetic al Pământului

Radiația solară

În interiorul Soarelui, energia este eliberată prin fuziune nucleară ($H \rightarrow He$). Aceasta este transportată prin radiație și convecție la suprafața solară și apoi transmisă în spațiu sub formă de unde electromagnetice și particule.

↗ Reacția proton-proton, p. 125.

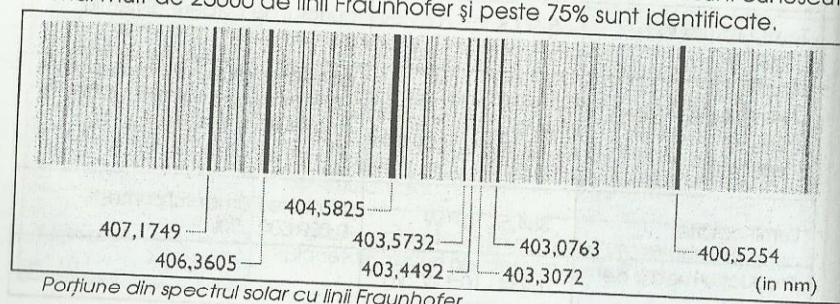
Radiația electromagnetică a Soarelui. O parte covârșitoare a radiației solare se regăsește sub formă de lumină și căldură. O parte redusă (circa 10%) se regăsește sub forma radiației radio de undă lungă, respectiv a radiației ultraviolete și Roentgen de undă scurtă.

↗ Spectrul electromagnetic, p. 7.

- Ca urmare a echivalenței dintre energie și masă, Soarele, prin emisia sa de unde electromagnetice, suferă în fiecare secundă o pierdere de masă de $4,3 \cdot 10^6$ t. Dacă radiația s-ar menține constantă, aceasta ar duce, totuși, în 10 miliarde de ani, la o pierdere de doar 0,07% din masa Soarelui.

↗ Procese de emisie de energie, p. 125, 179.

Spectrul solar. O radiație electromagnetică continuă, întreruptă de numeroase linii de absorbție (linii Fraunhofer) cât și, în cazul radiației cu lungime scurtă de undă ($\lambda \leq 120$ nm), de linii de emisie. Astăzi sunt cunoscute mai mult de 25000 de linii Fraunhofer și peste 75% sunt identificate.



Constanta solară. Acea parte a energiei emisă sub formă de radiație electromagnetică de către Soare care, la distanța medie Pământ – Soare, cade perpendicular pe unitatea de suprafață.

Constanta solară: $1,367 \text{ kW} \cdot \text{m}^{-2}$

Constanta solară este folosită pentru determinarea luminozității și a temperaturii la suprafața Soarelui.

Emisia de particule. Radiație solară compusă, în cea mai mare parte, din electroni și protoni. Acești curenți eliberați constant de Soare în toate direcțiile poartă numele de *vânt solar*.

Datorită înaltei temperaturi din coroana solară, o parte dintre particule capătă o viteză atât de mare, încât înving câmpul gravitațional al Soarelui (viteza de evadare la suprafața solară este de $618 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$). În afară de acestea, Soarele emite un curent neîntrerupt de neutrini produși în urma reacțiilor de fuziune nucleară care au loc în interiorul Soarelui.

- Prin emisia de particule, Soarele pierde în fiecare secundă o masă de $1,2 \cdot 10^6$ t.

↗ Procese de emisie de energie de energie, p. 125, 179.

Emisia de neutrini a Soarelui. Neutrini sunt particule elementare, neutre din punct de vedere electric, fără masă, sau cu o masă foarte mică. Ei au doar o slabă interacțiune cu materia. Practic, Soarele și Pământul sunt traversate de aceste particule fără a constitui vreun obstacol.

- Un strat de plumb cu o grosime de 1 an lumină ($9,5 \cdot 10^{12}$ km) ar putea fi traversat fără probleme de 99,9% dintre neutrini care se îndreaptă spre acesta. În interiorul Soarelui, la formarea fiecărui nucleu de heliu din două nuclee de hidrogen, sunt eliberați doi neutrini.

Cunoscându-se luminozitatea Soarelui, se poate aprecia că la fiecare secundă, fiecare cm^2 de pe Pământ este traversat de 65 miliarde de neutrini. Experimental, nu a putut fi pusă în evidență decât aproximativ o treime din această valoare.

Această problemă se află printre întrebările la care astronomia nu a găsit încă un răspuns complet.

↗ Procese de emisie de energie în stele, p. 125, p. 179.

Structura internă a Soarelui

Componenta chimică medie a Soarelui		
Elemente	Zona centrală	Celelalte zone
Hidrogen	36%	73%
Helium	62%	25%
Elemente grele	2%	2%

↗ Spectroscopia, p. 176.

Teoria structurii Soarelui. Soarele se află în echilibru mecanic și termic.

Echilibru mecanic		
presiunea gazelor + presiunea radiației	=	presiunea gravitației
orientată spre exterior		orientată spre interior

Echilibru termic	
energia eliberată în centru	= energia transportată spre exterior

↗ Starea de echilibru a stelelor, p. 124.

↗ Structura internă a stelelor, p. 124, 177.

Mărimi fizice în centrul Soarelui	
Temperatura	$14,6 \cdot 10^6 \text{ K}$
Densitatea	$134 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Presiunea	$22 \cdot 10^{15} \text{ Pa}$

Transportul de energie. În interiorul Soarelui, energia emisă prin radiație în condițiile unei continue absorbții și emisii, este treptat transportată spre exterior. În straturile superioare (până la 150 000 km adâncime), se adaugă și convecția. Acest strat exterior mai este de aceea numit și *zona de convecție a hidrogenului*. Radiația eliberată în centru este emisă în spațiu de către atmosfera solară abia după mai mult de 1 milion de ani.

Rotația. Soarele nu se rotește ca un corp rigid. La ecuator, durata de rotație siderală este de 25,03 zile (viteza de rotație este de $2 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$). În afară de aceasta, straturile superioare se rotesc mai repede decât cele inferioare (rotație diferențiată). Întrucât mișcarea de revoluție a Pământului în jurul Soarelui și rotația Soarelui au aceeași direcție, perioada de rotație sinodică este mai mare decât perioada de rotație siderală¹⁾.

¹⁾ Rotația siderală – rotația cu 360° ;

Rotația sinodică – rotația $> 360^\circ$, până când Pământul este din nou deasupra aceleiași părți din Soare.

Perioada de rotație		
Latitudine heliografică	Durata de rotație	
	siderală	sinodică
Ecuator (0°)	25,03 zile	26,92 zile
16°	25,38 zile	27,275 zile
30°	26,4 zile	28,3 zile
50°	28,5 zile	30,5 zile
70°	31,2 zile	33,2 zile

Înclinarea ecuatorului. Planul ecuatorului solar este înclinat cu $7,25^\circ$ față de planul orbitei Pământului (planul eclipticii).

Atmosfera solară

Straturile exterioare ale Soarelui: fotosfera, cromosfera, coroana.

Fotosfera	
• Strat al suprafeței solare de pe care este emisă cea mai mare parte a luminii Soarelui. • Grosime de circa 400 km ($< 1/1\,000$ din diametrul solar). • Temperatura scade de la interior la exterior de la circa 9 000 K la 4 300 K. • Întunecare a marginii discului solar, întrucât lumina de la marginea discului provine din straturi mai înalte, deci mai reci.	• Anomalii: pete și facule. • Structura fină: granulație (cauze: curenți verticali în zonele de convecție a hidrogenului – curenții de gaz fierbinte îndreptați spre exterior apar mai luminoși decât regiunile înconjurătoare).
Cromosfera	
• Strat aflat deasupra fotosferei. • Grosime de circa 10 000 km. • Temperatura la limita inferioară este de circa 4 300 K, iar la cea superioară de aproximativ 10^5 K. • Densitatea scade puternic spre exterior. • Structură floculară, datorată putericei turbulențe. • Anomalii: facule, erupții, protuberanțe. • Vizibilă pe fotosfera pe care o acoperă.	
Coroana	
• Stratul exterior, care se pierde treptat în spațiul interplanetar. • Densitate extrem de redusă. • Temperatură ridicată (circa 10^6 K). • Își modifică forma și structura în funcție de activitatea solară. • Vizibilă doar atunci când discul luminos al Soarelui este acoperit (de exemplu, în timpul unei eclipse totale de Soare).	

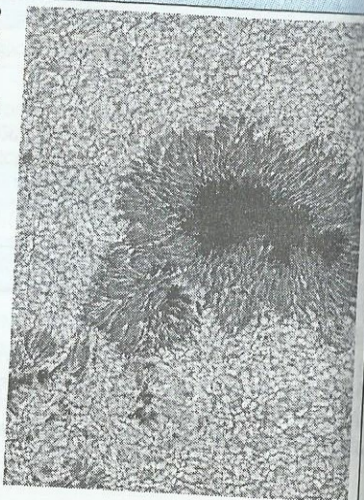
↗ Coronograful, p. 16.

Activitatea solară

Totalitatea modificărilor periodice care au loc pe Soare, în special pete, facule, erupții, protuberanțe. Fenomenele care însoțesc activitatea solară au similitudini spațiale și temporale, care dovedesc aceleași cauze (concentrații ale câmpului magnetic).

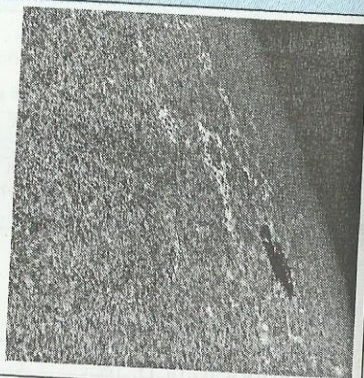
Petele solare

- Domenii de anomalie din fotosferă, sub forma unor pete întunecate solitare sau grupate, care apar la latitudini heliografice reduse.
- Temperaturi cu 1 000 K până la 2 500 K mai scăzute decât în restul fotosferei.
- Diametrul lor poate depăși 200 000 km (de 16 ori diametrul terestru).
- Marile pete au un nucleu întunecat (umbră) și o regiune înconjurătoare mai luminoasă (penumbra), care au o structură radială. Fenomenul dovedește o puternică emisie radială.
- Legături cu puternice câmpuri magnetice, care depășesc de circa 1000 de ori câmpul magnetic al Soarelui.
- În general, s-a observat o periodicitate de 11 ani la apariția petelor solare (ciclul petelor solare). Dacă se ia în considerație direcția câmpului magnetic, se obține o perioadă de 22 de ani.
- Petele solare au o durată de viață cuprinse între câteva ore (petele mici) și câteva luni (mai multe rotații solare).



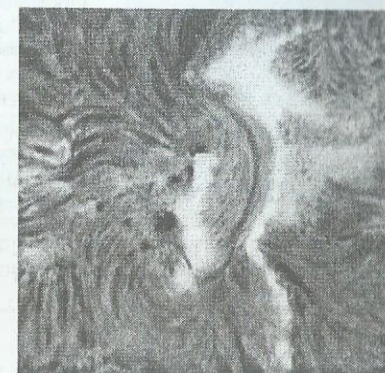
Faculele

- Anomali în fotosferă și în cromosfera inferioară care sunt cu circa 1000 K mai fierbinți decât regiunile înconjurătoare.
- Faculele apar în general în jurul petelor. Durata medie de viață a lor este mai mare decât cea a petelor.



Erupțiile

- Apariții luminoase de scurtă durată, extrem de rapide, în domenii limitate ale fotosferei și cromosferei.
- Marile erupții eliberează o energie de până la 10^{20} kWh, în timpul erupției crescând intensitatea emisiei radio, ultravioletă și Roentgen a Soarelui.
- Durata de viață este între câteva minute și câteva ore. Apar în special în apropierea marilor grupuri de pete solare.

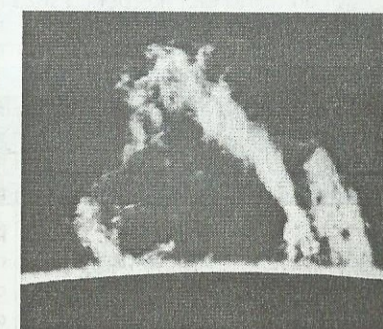
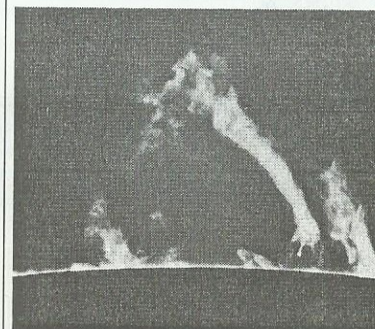


Protuberanțele

- Nori de gaz de diferite mărimi și forme care se ridică din cromosferă în coroană.
- Mărimi medii: grosime circa 10 000 km, lungimea arcului circa 200 000 km, înălțime circa 50 000 km.
- Temperaturi de la 10 000 K până la 20 000 K.
- Durata de viață – până la câteva rotații solare.
- Protuberanțele se pot înălța cu mare viteză peste marginea discului solar,

până la 10^4 km, căzând după aceea înapoi sau trecând sub forma unui nor de particule în coroană sau în spațiul interplanetar.

- Apar, în majoritatea cazurilor, împreună cu faculele și petele, având aceeași perioadă de reapariție, de 11 ani.
- Vizibile pe marginea discului solar (vezi imaginile de mai jos) în timpul eclipselor totale de Soare, respectiv cu lunete speciale.



Imagini luate la un interval de 15 minute

Relații între Soare și Pământ

Fenomene care apar pe Pământ sau în atmosfera terestră și care sunt cauzate de emisia de particule a Soarelui (vântul solar).

Fenomene și acțiuni	Modificări ale stării și comportării electrice ale ionosferei, influențări ale câmpului magnetic al Pământului (furtuni magnetice), fenomene luminoase în straturile înalte ale atmosferei, la altitudini polare (auroră polare), puternici curenți electrice în conducte.
Presupuse influențe meteorologice și biologice ¹⁾	Frecvența furtunilor, fenomene meteorologice, creșterea anuală a arborilor, mărirea recoltelor, frecvența infarcturilor.

¹⁾ Influențele presupuse sunt controversate, întrucât este greu ca din multitudinea de factori care au o influență asupra acestor fenomene să fie izolată influența unui singur factor (în cazul nostru, emisia de particule a Soarelui și influența sa electrică și magnetică).

4

IDENTIFICAREA STELELOR

Cum sunt identificate stelele	■ Steaua din stânga constelației Orion
Prin coordonate stelare	Ascensia dreaptă: $\alpha = 5^h 55^m 10.3s$ Declinația: $\delta = +7^\circ 24' 25.35''$
Printr-un nume într-un catalog stelar	Număr în catalogul Henry – Draper HD 39801
Printr-o literă mică grecească sau latină, în legătură cu numele constelației (pentru stelele mai strălucitoare decât mărimea 4)	α Orionis = α Ori (steaua α din constelația Orion)
Printr-un nume propriu (pentru stelele cele mai luminoase și mai vizibile)	Betelgeuse

Numele câtorva stele

Nume propriu	Denumire astronomică		Ascensia dreaptă h min s	Declinația
	Forma completă	Forma prescurtată		
Algol	Beta Persei	β Per	3 8 11	+40,95°
Areturus	Alpha Bootis	α Boo	14 15 40	+19,18°
Deneb	Alpha Cygni	α Cyg	20 41 26	+45,27°
Castor	Alpha Gemini	α Gem	7 34 36	+31,88°
Mira	Omicron Ceti	$\omicron$ Cet	2 19 21	-2,98°
Mizar	Zeta Ursae Majoris	ζ UMa	13 23 56	+54,33°
Steaua polară	Alpha Ursae Minoris	α UMi	1 31 51	+89,25°
Pollux	Beta Gemini	β Gem	7 45 19	+28,02°
Regulus	Alpha Leonis	α Leo	10 8 22	+11,97°

MAGNITUDINEA ȘI DEPĂRTAREA STELELOR

Magnitudinea

Măsura pentru radiația primită de la un corp ceresc. Unitatea: clasa de mărime (m).

Conform definiției, unei diferențe de magnitudine de o clasă de mărime ($m_1 - m_2$) îi corespunde un raport al intensităților radiației de $10^{0.4} : 1 = 2,512$.

$2^m - 1^m = 1 \text{ mag}$	Diferențele de magnitudine sunt măsurate în mag (din latină, magnitudo = mărime)
-----------------------------	--

Unei diferențe de magnitudine de 2,5 mag îi corespunde un raport al intensităților radiației de $10^{0.4 \cdot 2.5} : 1 = 10 : 1$.

Regulă: Valorile mici ale cifrelor clasei de mărime corespund unei magnitudini mari și invers.

- Atair are o magnitudine aparentă $m = 0,77^m$; Vega are magnitudinea $m = 0,03^m$. Vega este cu 0,74 mag mai strălucitoare decât Atair. Trebuie făcută diferența dintre magnitudinea aparentă și cea absolută.

Magnitudinea aparentă. Este magnitudinea observată. Ea este dependentă în special de cantitatea de energie iradiată pe unitatea de timp și de depărtarea respectivului corp ceresc față de Pământ. Magnitudinea aparentă se notează cu m .

Magnitudinea absolută. Dacă toate stelele ar fi plasate la aceeași depărtare față de Pământ, magnitudinea lor ar fi o măsură directă pentru cantitatea de energie iradiată pe unitatea de timp. Magnitudinea pe care ar avea-o o stea aflată la distanța de 10 pc, poartă numele de magnitudine absolută și se notează cu M .

↗ Determinarea distanței, p. 109. ↗ Unități de distanță, p. 111.

Stele strălucitoare pe firmamentul nostru (selecție)

Nume	Magnitudine	
	aparentă	absolută
Soare	-26,83 ^m	+4,74 ^m
Sirius	-1,46 ^m	+1,5 ^m
Arcturus	-0,04 ^m	+0,2 ^m
Vega	+0,03 ^m	+0,6 ^m
Capella	+0,08 ^m	-0,5 ^m
Rigel	+0,12 ^m	-6,5 ^m
Procyon	+0,38 ^m	+2,6 ^m
Atair	+0,77 ^m	+2,39 ^m
Aldebaran	+0,85 ^m	-0,6 ^m
Spica	+0,97 ^m	-6,7 ^m

Modulul de distanță. Diferența dintre magnitudinea aparentă și cea absolută. Măsură pentru distanța la care se află steaua. Cu cât este mai mare $m - M$, cu atât steaua este mai îndepărtată.

4

- Modulul de distanță al stelei:
 – Sirius: $(-1,46^m) - (+1,5^m) = -2,96 \text{ mag}$;
 – Rigel: $(+0,12^m) - (-6,5^m) = +6,62 \text{ mag}$;
 Rigel este mult mai îndepărtată decât Sirius.
 ↗ Determinarea fotometrică a distanței, p. 110.

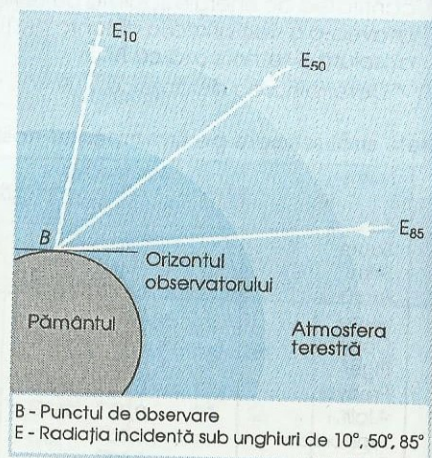
Magnitudinea fotometrică. Stelele au o radiație diferită în domeniile spectrale. De aceea, pentru una și aceeași stea se obțin magnitudini diferite, în funcție de domeniul spectral în care s-a făcut măsurătoarea.

Tipul magnitudinii	Prescurtare	Domeniul de măsurare
Magnitudine vizibilă	m_{vz}	Observare cu ochiul liber
Magnitudine fotografică	m_f	Observare fotografică
Magnitudine fotovizuală	m_N	Observare fotografică cu filtru galben
Magnitudine ultravioletă, albastră, vizuală	m_u, m_a, m_v	Măsurare în porțiuni restrânse în domeniul ultraviolet (350 nm), albastru (435 nm) și vizual (555 nm) al spectrului
Magnitudine bolometrică	m_{bol}	Măsurare în întregul domeniu spectral

- ↗ Legile radiației, p. 114.
 ↗ Indice cromatic, p. 129; ↗ Apariția astrofizicii, p. 176.

Extincția. Slăbire și/sau schimbare a culorii și dispersiei luminii unei stele în urma traversării norilor interstelari și a atmosferei terestre. Prin trecerea luminii prin gaze, radiația din domeniile înguste ale spectrului este absorbită. În spectru apar linii de absorbție întunecate, caracteristice pentru fiecare element sau moleculă absorbantă. Pe acest fenomen se bazează analiza spectrală. La trecerea prin atmosfera terestră, slăbirea luminii stelare este cu atât mai accentuată cu cât lumina cade mai oblic.

- ↗ Spectrul solar, p. 100
 ↗ Clasa spectrală, p. 120.
 ↗ Materia interstelară, p. 9, 144.
 ↗ Analiza spectrală, p. 123, 176.



B - Punctul de observare
 E - Radiația incidentă sub unghiuri de 10°, 50°, 85°
 Drumul luminii prin atmosferă este cu atât mai lung cu cât lumina cade mai oblic. Astfel crește și extincția atmosferică.

Extincția în atmosfera terestră față de zenit

Distanța zenitală a radiației	Slăbire	Distanța zenitală a radiației	Slăbire
0°	0,00 mag	50°	0,12 mag
10°	0,00 mag	60°	0,23 mag
20°	0,01 mag	70°	0,45 mag
30°	0,03 mag	80°	0,99 mag
40°	0,06 mag	85°	1,77 mag

În afară de aceasta, extincția este cromatic dependentă: lumina albastră suferă o atenuare mai puternică, lumina roșie una mai puțin puternică.

- Înrôșirea stelelor în apropierea liniei orizontului

Determinarea distanței

Cunoștințele despre depărtarea stelelor și a sistemelor stelare sunt de o importanță fundamentală pentru multe domenii din astronomie. Distanța până la stele poate fi calculată trigonometric, fotometric sau prin măsurarea deplasării spre roșu. Aceste metode sunt folosite pentru obiecte îndepărtate sau pentru anumite grupe de corpuri cerești. Pentru obiecte din Sistemul Solar apropiate de Pământ este folosită măsurarea timpului de propagare al semnalelor.

Ecometode. Viteza de propagare a luminii fiind cunoscută, timpul de propagare al impulsurilor radar sau laser poate fi folosit pentru determinarea distanței la care se află corpurile cerești cele mai apropiate de Pământ (Lună, Venus, Marte, Mercur, anumiți planetoizi). Întrucât viteza de propagare a undelor electromagnetice este constanta naturală cea mai bine cunoscută, determinarea distanței se poate face cu o foarte mare exactitate (Luna, $\pm 3 \text{ cm}$). Conform legii a treia a lui Kepler, poate fi determinată și distanța Pământ - Soare (unitate astronomică) și distanțele la care se găsesc celelalte planete față de Pământ.

	Valoarea exactă	Valoarea uzuală
Viteza luminii	$(299\,792\,458 \pm 0,0012) \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$	$300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$
Unitate astronomică	$149,597870 \cdot 10^6 \text{ km}$	$149,6 \cdot 10^6 \text{ km}$

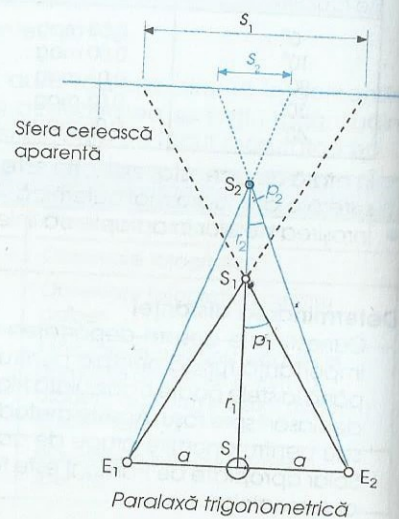
- ↗ Unități de distanță, p. 111.

Determinarea trigonometrică a distanței

Determinarea depărtării stelelor prin măsurări unghiulare, luându-se ca bază diametrul orbitei terestre (2 UA; $\approx 300\,000\,000 \text{ km}$). Este măsurată deplasarea aparentă a stelei observate față de stele care (se admite) sunt mult mai importante decât steaua cercetată. Unghiul sub care este văzută raza orbitei terestre dinspre stea poartă numele de paralaxă (p). Paralaxele tuturor stelelor sunt mai mici decât o secundă de arc.

Determinarea distanțelor prin calcularea paralaxelor trigonometrice este aplicabilă la stelele a căror distanță față de Pământ este mai mică decât 100 pc ($p \geq 0,001''$).

- S – punctul în care se află Soarele
 E_1, E_2 – puncte în care se află Pământul la diferență de jumătate de an
 a – semiaxa mare a orbitei terestre (=1 UA)
 S_1, S_2 – puncte în care se află stelele
 r_1, r_2 – distanțele la care se află stelele S_1 și S_2
 p_1, p_2 – paralaxele stelelor S_1 și S_2
 s_1, s_2 – proiecții ale orbitei Pământului prin deplasarea stelelor S_1 și S_2 pe bolta cerească



Între paralaxa p și distanța r există relația:

$$r = \frac{1}{p}$$

r în parseci
 p în secunde de arc

Paralaxa și distanța unor stele apropiate de Soare		
Steaua	Paralaxa	Distanța
Proxima Cen	0,772''	1,295 pc
α Cen	0,750''	1,333 pc
Sirius (α CMa)	0,377''	2,653 pc
Altair (α Aql)	0,202''	4,95 pc
Vega (α Lyr)	0,133''	7,52 pc
Arcturus (α Boo)	0,097''	10,30 pc

↗ Unități de distanță, p. 111.

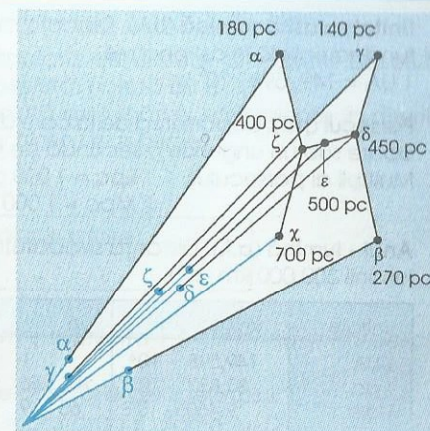
↗ Primele măsurări ale paralaxelor stelelor fixe, p. 175.

Determinarea fotometrică a distanței

Între magnitudinea aparentă m , magnitudinea absolută M și depărtarea r (în pc) a stelei există relația:

$$m - M = 5 \cdot \lg r - 5$$

Dacă se reușește determinarea magnitudinii absolute (sau a strălucirii sale echivalente), de exemplu prin cercetarea spectrului astral sau prin aflarea diametrului stelei și a temperaturii înregistrate la suprafață, se poate calcula depărtarea r .
 ↗ Unități de distanță, p. 111.



Modelul spațial al constelației Orion

Metoda Cefeidelor

Datorită relației existente între perioada de schimb a luminii și magnitudinea absolută (respectiv strălucirea) stelelor Delta-Cephei, se poate calcula, prin mărimi măsurabile, magnitudinea aparentă și perioada modulului de distanță și, prin aceasta, distanța.

Stelele Delta-Cephei aflându-se într-un roi de stele, se poate determina și depărtarea celorlalte stele ale roiului. Întrucât stelele Delta-Cephei au o puternică strălucire, ele pot fi observate și în alte sisteme stelare și permit determinarea distanței la care se află aceste sisteme.

↗ Modulul de distanță, p. 107; ↗ Determinarea fotometrică a distanței, p. 110;

↗ Relația perioadă – magnitudine, p. 132; ↗ Variația p. 130.

Metoda deplasării spre roșu. Distanța la care se află galaxiile foarte îndepărtate poate fi determinată din deplasarea spre roșu din spectrele lor.

↗ Constanta Hubble, p. 158, 181; ↗ Distanța sistemelor stelare, p. 152.

↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Accesibilitatea diferitelor metode de determinare a distanței

Metodă	Accesibilitate
Ecometode	Sistemul solar intern
Metode trigonometrice	1000 pc
Metode fotometrice	Sistemul Căii Lactee
Metoda Cefeidelor	Stelele luminoase din galaxiile învecinate
Metoda deplasării spre roșu	$20 \cdot 10^6$ pc
	Mai mult de 10^9 pc

Unități de distanță

În astronomie se folosesc următoarele unități: unitatea astronomică, parsecul și anul-lumină.

Unitatea astronomică (UA). Distanța medie dintre Pământ și Soare; unitate fundamentală în astronomie.
 $1 \text{ UA} = 149,598 \cdot 10^6 \text{ km}$

Parsecul (pc). Depărtarea de la care distanța medie Pământ – Soare (1 UA) apare sub un unghi de o secundă de arc.
 Multipli ai parsecului: $1 \text{ kpc} = 1\,000 \text{ pc}$
 $1 \text{ Mpc} = 1\,000\,000 \text{ pc}$

Anul - lumină (a.l.). Distanța străbătută de lumină în timpul unui an (viteza luminii $300\,000 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$).

Unitate	km	UA	pc	a.l.
1 UA	$149,598 \cdot 10^6$	1	$4,8481 \cdot 10^{-6}$	$15,8129 \cdot 10^{-6}$
1 pc	$30,857 \cdot 10^{12}$	206 266	1	3,2617
1 a.l.	$9,4605 \cdot 10^{12}$	63 239	0,3066	1

Depărtarea celor mai strălucitoare stele

Numele stelei	Depărtarea în a.l.	Depărtarea în pc
Sirius	8,8	2,7
Vega	26	7,5
Pollux	36	11
Castor	46	14
Capella	46	14
Aldebaran	68	21
Regulus	85	26
Algol	101	31
Mira	130	40
Spica	274	84
Betelgeuse	587	180
Steaua Polară	652	200
Rigel	880	270
Deneb	1630	500

MĂRIMI DE STARE ALE STELELOR

Mărimile de stare

Mărimi observate sau deduse din observații care, în totalitatea lor, descriu starea fizică a unei stele. Mărimile de stare sunt:

- Strălucirea
- Masa;
- Accelerația gravitațională;
- ($\approx$ magnitudinea absolută);
- Densitatea medie;
- Câmpul magnetic;
- Temperatura;
- Producția medie de energie;
- Rotația;
- Diametrul;
- Clasa spectrală;
- Compoziția chimică.

Strălucirea

Quantitatea totală de energie iradiată de o stea. O mărime absolută echivalentă cu magnitudinea absolută, notată cu L .
 Strălucirea și magnitudinea absolută sunt mărimi echivalente în diferite unități de măsură (wați, respectiv clase de mărime).

Formule de transformare

$$\begin{aligned} M_{bol} &= 4,7 - 2,5 \cdot \log L & L \text{ în străluciri solare} \\ L &= 10^{1,88 - 0,4 \cdot M_{bol}} \end{aligned}$$

Strălucirea poate fi determinată:

- din magnitudinea absolută m și distanța r (cu transformarea din magnitudinea absolută M);
- din intensitatea anumitor linii de absorbție ale spectrului;
- din temperatura înregistrată la suprafață T și diametrul D .

Strălucirea stelelor apare într-un domeniu foarte larg; ea poate fi cuprinsă între 10^{-4} și 10^5 străluciri solare.

↗ Legea radiației, p. 114; ↗ Magnitudinea, p. 107.

↗ Clasa spectrală, p. 120; ↗ Temperatura, p. 113.

↗ Determinarea distanței, p. 109.

↗ Diagrama Hertzsprung–Russell, p. 127.

Temperatura

Temperatura (T) la suprafața celor mai multe dintre stele este cuprinsă între 2 500 K și 50 000 K.

Temperatura stelelor se determină în principal prin determinarea cantității de energie radiată sau prin măsurarea intensității de radiație într-un interval de lungimi de undă.

Determinarea temperaturii stelelor prin determinarea cantității de energie radiată:

Din legea Stefan–Boltzmann rezultă

$$T \sim \sqrt[4]{\frac{L}{D^2}}$$

T – temperatura
 L – strălucirea
 D – diametrul

Temperatura determinată în acest mod poartă numele de *temperatură efectivă*. Ea poate fi calculată pentru stelele pentru care sunt cunoscute strălucirea și diametrul.

↗ Legile radiației, p. 114.

↗ Temperatura, p. 113.

Dacă în locul energiei de radiație, din întregul spectru se cercetează doar energia unui anumit interval de lungimi de undă, atunci se obține *temperatura de radiație*.

Determinarea temperaturii stelelor prin măsurarea intensității de radiație într-un interval de lungimi de undă:

Compararea intensității de radiație a unei stele cu cea a unui corp negru într-un anumit interval de lungimi de undă duce la obținerea temperaturii de culoare.

Temperatura Soarelui (după diferite metode de determinare)		Temperatura efectivă a unor stele dintr-o anumită clasă spectrală	
Tipul de temperatură cercetată	Valoarea	Clasa spectrală	Temperatura efectivă
Temperatura efectivă	5 777 K	M3	2 900 K
Temperatura de radiație		K5	4 700 K
• domeniul vizual	6 050 K	G2	5 800 K
• domeniul fotografic	5 895 K	F2	7 300 K
Temperatura de culoare		A2	10 900 K
• 300 nm până la 400 nm	4 850 K	B3	21 800 K
• 410 nm până la 950 nm	7 140 K	B0	32 500 K
		O5	41 000 K

Diagrama Hertzsprung - Russell, p. 127.

Legile radiației

Legea corpului radiant negru. Radiația emisă de un corp este cu atât mai mare, cu cât acesta poate absorbi mai multă radiație. Un corp radiant negru absoarbe complet orice radiație electromagnetică apărută. Stele sunt, în interiorul lor, corpuri radiante negre. În domeniile exterioare, din contră, energia emisă este diminuată, cu diferite intensități, în diferite lungimi de undă (corp cu radiație selectivă).

Legea radiației a lui Planck

Densitatea de energie a unei radiații electromagnetice depinde de lungimea de undă și de temperatură. În fiecare porțiune a spectrului, aceasta este cu atât mai mare, cu cât este mai mare temperatura corpului radiant.

Fiecărei temperaturi îi corespunde o curbă Planck, ce nu se intersectează în nici un domeniu cu nici o altă curbă de același tip (fig. p. 115).

Constanta lui Planck. Constanta h , care apare în formularea matematică a legii radiației lui Planck, este o mărime universală:

$$h = 6,6260755 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$$

Legea deplasării a lui Wien

Maximumul intensității de radiație se deplasează odată cu creșterea temperaturii spre lungimi de undă din ce în ce mai mici.

$$\lambda_{\max} \sim \frac{1}{T}$$

$$\lambda_{\max} \cdot T = \text{const} = a$$

$\lambda_{\max}$ – lungimea de undă a maximumului de radiație

T – temperatura

$$a = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot \text{K}$$

Maximul de radiație la diferite temperaturi

Temperatura (în K)	$\lambda_{\max}$ (în nm)	Domeniul spectral al $\lambda_{\max}$
1 000	2 900	infraroșu
4 000	720	roșu
7 000	412	violet
10 000	290	ultraviolet
1 000 000	2,9	radiație Roentgen

Legea Stefan – Boltzmann

Energia de radiație totală a unui corp crește proporțional cu valoarea temperaturii la puterea a patra

$$W_{\text{tot}} \sim O \cdot T^4$$

$$W_{\text{tot}} = \sigma \cdot O \cdot T^4$$

$$\sigma = 5,67051 \cdot 10^{-8} \cdot \text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{K}^{-4}$$

W_{tot} – energia de radiație totală
 T – temperatura

O – suprafața

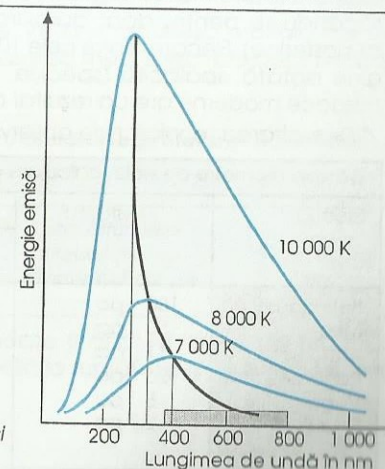
σ – constanta Stefan – Boltzmann

Datorită faptului că $S = \frac{W_{\text{tot}}}{O}$,

legea este scrisă adesea sub forma:

$S = \sigma \cdot T^4$, unde S este fluxul de radiație.

Suprafața delimitată de curbele lui Planck dă energia de radiație totală.



Legea Stefan – Boltzmann și legea deplasării a lui Wien

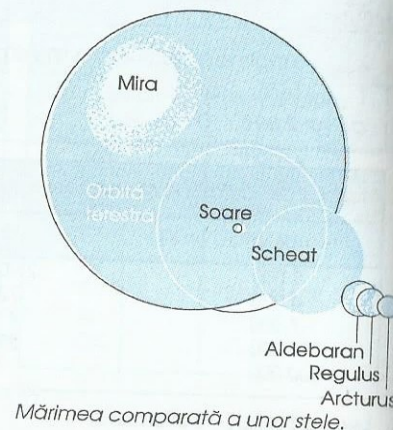
Diametrul

Diametrul stelelor este cuprins între 0,00001 și 1 000 diametre solare. Diametrul stelelor poate fi determinat prin metoda interferometrică, prin observarea variației acoperirii sau cu ajutorul legii Stefan-Boltzmann.

↗ Legile radiației, p. 114; ↗ Variabile, stele variabile, p. 130.

Determinarea interferometrică a diametrului stelelor

Cu ajutorul metodelor de observare interferometrică poate fi calculat diametrul stelelor apropiate. Radiația poate fi observată prin două fante sau poate fi captată cu doi receptori diferiți, fantele, respectiv receptorii aflându-se la distanțe variabile unele de altele. Prin fenomenele de interferență ce apar la modificarea distanței dintre fante, respectiv receptori, poate fi măsurat diametrul unghiular al surselor de radiații.



Mărimea comparată a unor stele.

Interferometria Speckle. Metodă modernă de observație interferometrică a stelelor al cărei scop este de a măsura diametrul și structurile de suprafață ale stelelor și de a despărți optic stelele duble spectrale. Pentru aceasta, drumul luminii prin telescop, până la locul de observare, trebuie să concorde până la micron. „Trucul” interferometriei Speckle constă în faptul că se execută foarte multe înregistrări ale obiectului, de fiecare dată expunerea făcându-se pentru doar aproximativ 1/100 s (pentru evitarea „lipirii” atmosferice). Fiecare dintre cele 100... 1000 de înregistrări constituie o imagine pătată, spălăcită (speckle, engl. = pată). Suprapunerea lor prin mijloace moderne are ca rezultat o imagine clară, detaliată.

↗ Dezvoltarea tehnicilor de observație, p. 177.

Câteva diametre de stele, calculate prin interferometrie			
Steaua	Distanța	Diametrul	
		aparent în "	real în diametre solare
Betelgeuse	180 pc	0,034	730
Mira	50 pc	0,056	390
Arcturus	11 pc	0,022	28
Regulus	26 pc	0,00138	3,8
Vega	8 pc	0,0038	2,9
Sirius	2,7 pc	0,0068	2

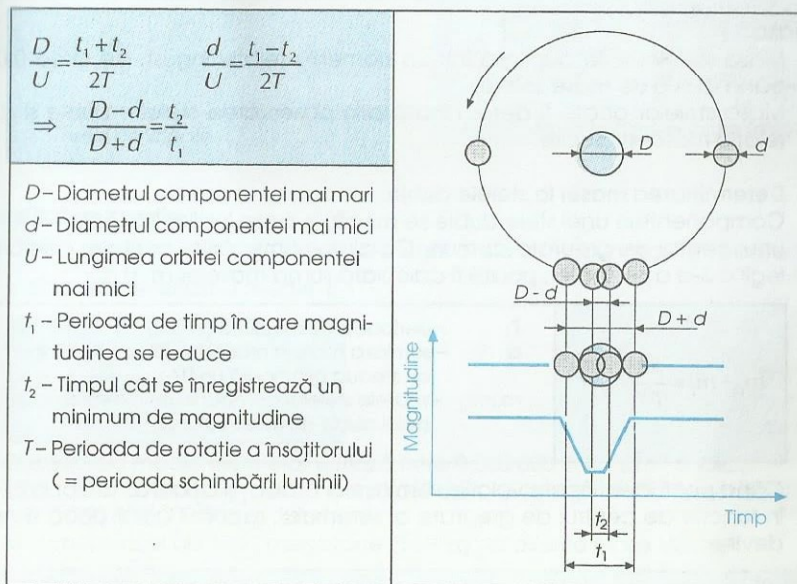
Determinarea diametrului stelelor prin observarea variației acoperirii

La variația acoperirii, diametrul poate fi aflat cu ajutorul curbei luminii.

↗ Variabile, stele variabile, p. 130.

↗ Stelele duble, p. 130.

Studierea curbei luminii arată legătura existentă între diametrele celor două componente ale unei stele duble în raport cu lungimea orbitei însoțitorului.



D și d pot fi date în măsuri lineare, în timp ce viteza orbitală medie a însoțitorului poate fi aflată din deplasarea liniilor spectrale (fapt realizat la circa 100 de stele de acoperire).

Determinarea diametrului stelelor cu ajutorul legii Stefan – Boltzmann

$D \sim \frac{\sqrt{L}}{T^2}$	D – diametrul stelei L – strălucirea T – temperatura
-------------------------------	--

Pe această cale, diametrul (D) poate fi aflat la toate stelele la care strălucirea (L) și temperatura măsurată la suprafață (T) pot fi determinate independent de diametru.

↗ Legile radiației, p. 114.

Diametrul stelelor poate fi cuprins între 10^{-5} și 10^3 diametre solare.

Tipul de stea	Diametrul în diametre solare
Stele neutronice	10^{-5}
Pitice albe	10^{-2}
Stelele seriei principale	$10^{-1} \dots 10$
Stele gigantice	$10 \dots 10^2$
Stele supragigantice	$10^2 \dots 10^3$

Masa

Masa stelelor este cuprinsă într-un domeniu relativ îngust, de circa 0,05 până la 100 de mase solare.

Masa stelelor poate fi determinată prin observarea stelelor duble și din relația masă-strălucire.

Determinarea masei la stelele duble

Componentele unei stele duble se mișcă, în baza legilor lui Kepler, în jurul unui centru de greutate comun. Cu ajutorul mișcărilor orbitale, conform legii a 3-a a lui Kepler, poate fi calculată suma maselor m_1 și m_2 :

$m_1 + m_2 = \frac{a^3}{T^2}$	T – perioada de revoluție (în ani) a – semiaxa mare a orbitei însoțitorului, în raport cu steaua principală (în UA) m_1, m_2 – masele stelelor componente ale sistemului stelei duble (în mase solare)
-------------------------------	--

Când pot fi identificate valorile semiaxelor mari a_1 și a_2 ale ambelor orbite, în funcție de centrul de greutate al sistemului, raportul celor două mase devine:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}$$

Din ecuațiile pentru $(m_1 + m_2)$ și m_1/m_2 se pot afla masele celor două componente.

În acest mod au fost calculate mase în circa 40 de sisteme de stele duble.

➤ Legile lui Kepler, p. 54, 173.

➤ Stelele duble, p. 130.

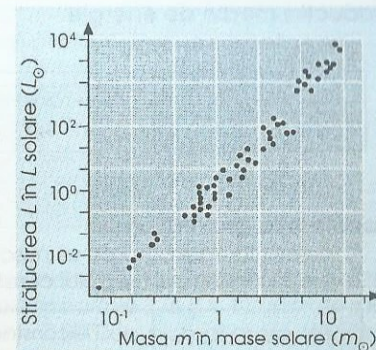
Determinarea masei cu ajutorul relației dintre masă – strălucire

Pentru stelele seriei principale are loc relația:

$L \sim m^{3.5}$	O dată cu masa, crește foarte puternic și strălucirea.
L – strălucirea	
m – masa	

Determinarea masei pe această cale se poate face la stelele seriei principale, a căror strălucire poate fi măsurată.

■ Când masele a trei stele din seria principală se află în raportul 1 : 2 : 3, strălucirile lor se află în raportul 1 : 11 : 47.



Relația masă-strălucire la stelele seriei principale

Densitatea medie

Când masa m și diametrul D ale unei stele sunt cunoscute, poate fi calculată densitatea medie $\bar{\rho}$:

$$\bar{\rho} = \frac{6 \cdot m}{\pi \cdot D^3}$$

Densitatea medie a stelelor variază între 0,000 000 1 g · cm⁻³ (adică circa 1/10 000 din valoarea densității aerului la suprafața terestră) și 1 000 000 000 000 g · cm⁻³.

■ Volumul masei de 1000 megatone (10^{12} kg) la diferite clase stelare

Clasa stelară	Densitatea medie	Volumul la 10^{12} kg
Stele neutronice	10^{15} g · cm ⁻³	1 cm ³
Pitice albe	10^5 g · cm ⁻³	10 000 m ³
Stele de mărimea Soarelui	1 g · cm ⁻³	10^9 m ³ = 1 km ³
Gigantice	10^{-3} g · cm ⁻³	1 000 km ³
Supragigantice	10^{-7} g · cm ⁻³	10^7 km ³

Masa și densitatea medie a unor stele

Steaua	Masa în mase solare	Densitatea medie în g · cm ⁻³
Betelgeuse	15	0,000 000 05
Arcturus	3,6	0,000 4
Spica	11	0,03
Sirius A	2,2	0,4
Procyon	1,8	0,7
Altair	1,6	0,9
Sirius B	1,05	400 000

Producția medie de energie

Cantitatea de energie iradiată (strălucirea) de o stea în raport cu masa sa

$\bar{\epsilon} = \frac{L}{m}$	L – strălucirea m – masa
--------------------------------	---------------------------------

Producția medie de energie a stelelor variază între 10^{-2} și $10^4 \epsilon_{\odot}$.

Accelerația gravitațională

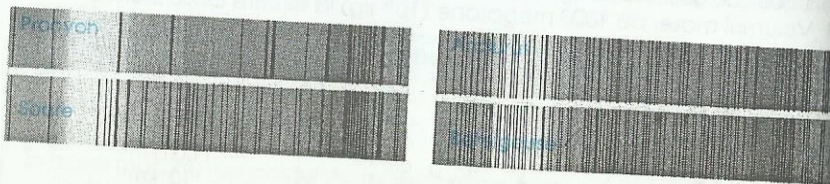
Accelerația unui corp ce se mișcă liber sub influența forței gravitaționale în direcția centrului corpului ceresc. Se calculează din relația:

$a = G \cdot \frac{m}{r^2}$	G – constanta gravitațională m – masa corpului ceresc r – distanța la care se găsește corpul aflat în cădere față de centrul corpului ceresc
-----------------------------	--

Accelerația gravitațională la suprafața stelelor din seria principală este aceeași cu valoarea caracteristică Soarelui. La stelele gigant și supragigant, aceasta este mai mică, în timp ce la piticele albe și la stelele neutronice este cu mult mai mare.

Clasa spectrală

Spectrele stelelor se deosebesc între ele în funcție de intensitatea radiației (care depinde de lungimile de undă și de temperatură) și de structura lor interioară (numărul, plasamentul și forma liniilor de absorbție). Diferitele spectre reflectă starea fizică diferită a atmosferelor stelare și compoziția lor chimică.



- Radiația solară, p. 100
- Legile radiației, p. 114

Spectrele stelare se împart, după temperatura stelei, în clase principale, redată prin litere de tipar.

O, B, A, F, G, K, M
Temperatura stelei scade →

Fiecare dintre aceste clase principale (cu excepția clasei O) este împărțită în 10 subclase, notate cu cifre de la 0 la 9.

Clasele spectrale ale câtorva stele

Steaua	Clasa spectrală	Steaua	Clasa spectrală
Spica	B1	Soarele	G2
Vega	A0	Arcturus	K1
Deneb	A2	Aldebaran	K5
Altair	A7	Betelgeuse	M1... 2
Steaua Polară	F8	Mira	M7

Câmpul magnetic

Cu ajutorul efectului Zeemann au fost dovedite câmpuri magnetice pentru aprox. 100 de stele, în special din clasele spectrale B, A și F. Intensitatea lor este cuprinsă între 0,01 și 3,4 T (de 20 – 7 000 de ori mai mare decât a câmpului magnetic total al Soarelui) și este variabilă. Câmpuri magnetice de intensitate mai scăzută sunt presupuse la numeroase alte stele; din păcate, existența lor nu a putut fi încă dovedită științific.

Efectul Zeemann. Lărgirea sau dezintegrarea liniilor din spectrele stelare la traversarea de către radiație a unui câmp magnetic. După intensitatea lărgirii sau dezintegrării liniilor spectrale, se poate deduce și intensitatea câmpului magnetic.

Rotația

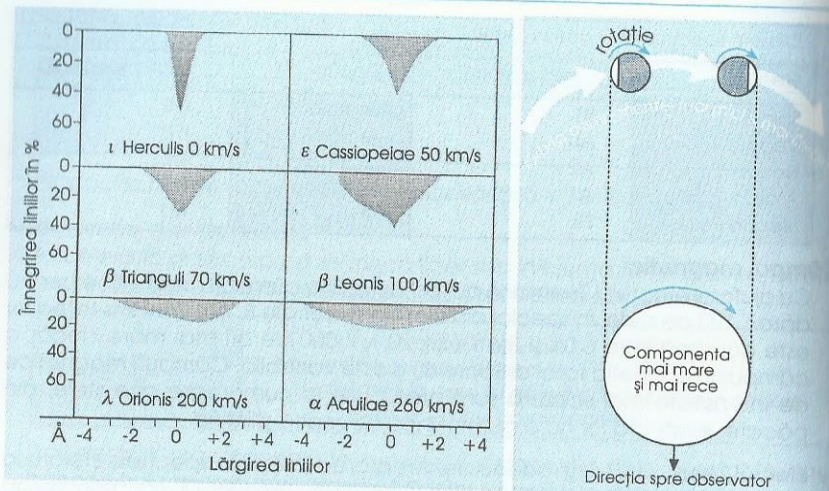
Este imprimată stelelor încă de la apariție prin mișcarea lor în norii interstelari. La stelele seriei principale se remarcă o dependență față de temperatura de suprafață, respectiv clasa spectrală: în general, cu cât este mai mare temperatura, cu atât este mai intensă rotația. Întrucât stelele din clasele spectrale „anterioare” (O, B, A), sunt, în medie, mai tinere decât cele din clasele spectrale „posterioare” (K, M), se poate trage concluzia că, în timpul evoluției lor, stelele își pierd din energia de rotație (de exemplu, prin radiație corpusculară).

Viteza de rotație și clasa spectrală

Clasa spectrală	Viteza de rotație
B	200 – 250 km · s ⁻¹
A	150 – 200 km · s ⁻¹
F	25 – 100 km · s ⁻¹
G, K, M	< 25 km · s ⁻¹

- Cea mai mare viteză de rotație observată la o stea: ϕ Per – 560 km · s⁻¹.
- Clasa spectrală, p. 120.

Determinarea vitezei de rotație este posibilă cu ajutorul efectului Doppler. Privind perpendicular pe axa de rotație, o parte a stelei se depărtează de noi, în timp ce partea cealaltă se apropie de noi. Deplasarea liniilor spectrale produsă de acest fenomen apare în spectrul stelei ca o lățire a liniilor. Cu cât sunt mai late liniile, cu atât este mai rapidă rotația.



Lărgirea liniei magneziului cu $\lambda = 448,1 \text{ nm}$, la stele cu diferite viteze de rotație

Determinarea rotației la variabilele de acoperire

În cazul variabilelor de acoperire, una dintre componente acoperă temporar o parte sau alta a celei de-a doua componente. Deplasarea liniilor spectrale spre domeniul roșu sau albastru al spectrului poate fi observată de sine stătător (separat). Și întrucât la aceste stele poate fi determinat și diametrul, se poate calcula valoarea absolută a vitezei de rotație. Prin aceasta se verifică scala lățirii liniilor spectrale.

Observând axa de rotație sub un unghi mai mic de 90° (ceea ce va fi un caz normal), viteza reală de rotație va fi mai mare decât cea dedusă din lățirea liniilor spectrale.

➤ Efectul Doppler, p. 122.

➤ Variabile, stele variabile p. 130.

➤ Determinarea diametrului stelelor, p. 116.

Efectul Doppler. Apare la propagarea și recepția undelor. Modificându-se distanța dintre sursa radiației și observator, crește și numărul de unde receptate, atunci când sursa și receptorul se apropie. Numărul de unde receptate se micșorează când sursa și receptorul se distanțează. La apropiere, tonurile devin mai înalte, iar lumina se deplasează spre albastru. La îndepărtare, tonurile devin, din contră, mai joase, iar lumina se deplasează spre roșu. Pentru frecvența f receptată de observator există relația:

$f = f_0 \left(1 \pm \frac{v}{c} \right)$	f_0 – frecvență reală
$v \ll c$	v – viteza relativă între sursă și receptor
+ apropiere	c – viteza de propagare a undelor
- depărtare	

Lungimea de undă pare să se modifice astfel: $\Delta\lambda = \lambda - \lambda_0$, ceea ce face să existe relația:

$\frac{\Delta\lambda}{\lambda_0} = \frac{v_r}{c}$	λ – lungimea de undă receptată
	λ_0 – lungime de undă emisă
	v_r – viteza radială
$v \ll c$	c – viteza de propagare a undelor

Fenomenul descoperit de Christian Doppler (1803 – 1853) are o mare importanță pentru astronomie.

➤ Rotația stelelor, p. 121.

➤ Metoda deplasării spre roșu, p. 111, 122, 158.

➤ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Compoziția chimică

Prin analiza spectrală a fost pusă în evidență – cu rare excepții, o surprinzător de unitară compoziție chimică a straturilor stelare exterioare:

Hidrogen	60... 70 %;
Heliu	30... 40 %;
Elemente grele	2... 4 %.

Din teoria apariției stelelor relese că alcătuirea chimică în interiorul stelelor este astfel modificată de fuziunea nucleară, încât există mai mult heliu și mai puțin hidrogen.

La explozia supernovelor, în câteva secunde pot apărea elemente mai grele decât fierul, până la Californiu ($^{254}_{98}\text{Cf}$). Prin aceste procese, prin care părți ale stelelor sunt proiectate în Univers, materia interstelară se îmbogățește cu elemente grele.

➤ Analiza spectrală, p. 123. ➤ Procesele de emisie de energie, p. 125, 179.

➤ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

Analiza spectrală. Metodă de cercetare analitică a spectrelor. Ea se bazează pe următoarele cunoștințe:

- Gazele luminoase, supuse unei presiuni nu prea înalte și unei temperaturi nu prea mari, produc un spectru de linii. Numărul și poziția liniilor sunt caracteristice pentru fiecare element.
- Dacă lumina unui corp cu un spectru continuu traversează un gaz mai rece, atunci în spectrul continuu apar linii întinse (linii de absorbție, linii Fraunhofer). Numărul și poziția lor corespund exact cu liniile spectrale ale spectrelor elementelor care compun gazul traversat. Acest fapt permite identificarea respectivelor elemente.
- Intensitatea unei linii depinde atât de frecvența elementului, cât și de starea fizică a materiei.

➤ Spectrul solar, p. 100. ➤ Clasa spectrală, p. 120.

➤ Extincția, p. 108. ➤ Dezvoltarea astrofizicii, p. 176.

STRUCTURA INTERNĂ A STELELOR

Starea de echilibru a stelelor

Stelele se află într-o stare de echilibru mecanic și termic.

Echilibrul mecanic

Pentru fiecare punct al unei sfere de gaz, denumită „stea”, este valabilă afirmația: „Presiunea exercitată din exterior spre interior de către greutate este absolut egală cu presiunea exercitată din interior spre exterior de către gaze și radiație”.

Echilibrul termic

Energia eliberată în interiorul stelei este egală cu energia eliberată în spațiu de către suprafața stelară. În stea nu se stochează nicăieri energie.

↗ Structura internă a Soarelui, p. 101.

Modelul stelar. Date obținute prin speculații teoretice asupra stării fizice a interiorului stelelor și asupra modificărilor acestor date de-a lungul evoluției stelelor.

Repartiția masei

Masa stelară nu este repartizată uniform în interiorul stelelor, ci este cu atât mai concentrată cu cât ne apropiem de centru.

Repartiția densității

Ca urmare a unei repartiții inegale a masei în stele, densitatea crește puternic de la exterior spre interior.

- Soarele: densitatea medie: $1,41 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$;
densitatea în centru: $134 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$.

Repartiția temperaturii

Temperatura stelelor crește puternic de la exterior la interior (10^7 K până la 10^9 K , Soarele aproximativ $15 \cdot 10^6 \text{ K}$).

În aceste condiții, este posibilă fuziunea nucleară, care duce la eliberarea de energie.

↗ Cercetarea structurii stelelor, p. 177.

Repartiția presiunii

Presiunea crește de la 0, la suprafața stelară, la valori foarte mari în centrul stelei. În fiecare punct al interiorului stelei ea este atât de mare încât să suporte greutatea masei aflată pe direcția verticală deasupra lui.

- Soare: presiunea la $1/2 R_{\odot}$: $6 \cdot 10^{13} \text{ Pa}$;
presiunea în centru: $2210 \cdot 10^{13} \text{ Pa}$.

PROCESE DE EMISIE DE ENERGIE ÎN STELE

Fuziunea nucleară

Stelele emit, de-a lungul unor mari perioade de timp, o foarte mare cantitate de energie. Numai prin procese atomice sunt în măsură ca, într-o atât de mare perioadă de timp, de ordinul miliardelor de ani, să emită energie de acest ordin de mărime.

În stele, la temperaturi foarte înalte, nucleele atomice ușoare fuzionează, dând naștere unor nuclee atomice mai grele. Masa nucleului nou format este mai mică decât suma maselor nucleelor atomice fuzionate. Acest defect de masă este eliberat, conform ecuației Einstein a echivalenței, ca radiație.

Tipul de fuziune nucleară depinde de condițiile fizice existente în interiorul stelei, în special de temperatură și de tipul particulelor existente.

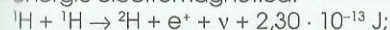
Cele mai importante procese sunt:

- reacția proton-proton;
- reacția heliului;
- ciclul C-N-O.

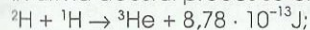
Reacția proton-proton, reacția pp

La temperaturi de peste $5 \cdot 10^8 \text{ K}$, întregul nucleu al stelei se comportă ca un reactor nuclear, în care au loc următoarele procese:

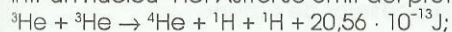
1) Două nuclee de hidrogen ^1H (protoni) se unesc într-un nucleu de deuteriu ^2H . În plus, iau naștere un pozitron e^+ și un neutrino ν . De asemenea, se eliberează energie electromagnetică:



2) Nucleul de deuteriu ^2H se unește cu un alt proton, formând un nucleu de ^3He . În urma acestui proces se emite din nou radiație electromagnetică:



3) În timpul procesului, două dintre nucleele ^3He astfel formate se unesc într-un nucleu ^4He . Astfel se emit doi protoni și radiație electromagnetică:



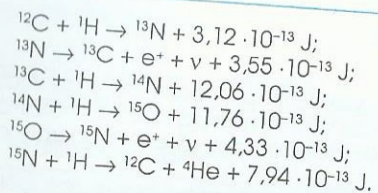
Indicație: Cele două trepte inițiale ale reacției trebuie să fie parcurse de două ori pentru a putea fi puse la dispoziția ultimei trepte de reacție particulele necesare!

Bilanțul general al procesului:

- patru protoni se unesc într-un nucleu ^4He ;
- o energie de $41,92 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ pentru fiecare nucleu ^4He este eliberată sub formă de radiație;
- doi neutrino părăsesc steaua.
- La transformarea unui gram de hidrogen ($6 \cdot 10^{23}$ protoni) se eliberează $62 \cdot 10^{10} \text{ J} = 172 \text{ 000 kW}$.
- Reacția pp joacă un rol hotărâtor în eliberarea de energie de către Soare.

Ciclul C-N-O, ciclul Bethe-Weizsäcker

La temperaturi de peste 10^7 K , pe lângă reacția pp se desfășoară un al doilea proces, a cărui productivitate este, la peste 16 milioane K, mai mare decât cea a procesului pp:



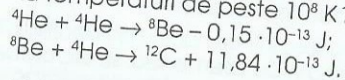
Bilanțul general al procesului:

- Din patru protoni ia naștere un nucleu de heliu (nucleele de N și O sunt produse intermediare; nucleul de ^{12}C , necesar pentru prima reacție, stă la sfârșit, din nou la dispoziție).
- Se eliberează o energie de $40,0 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ pe fiecare nucleu de ^4He (se exclude energia neutrinelor care părăsesc steaua).

- Ciclul C-N-O, joacă, de asemenea, un rol în nucleul Soarelui.
- Descoperirea surselor de emisie de energie a stelelor, p. 179.

Reacția heliului, procesul Salpeter, procesul 3d

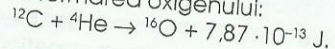
La temperaturi de peste 10^8 K începe transformarea heliului în carbon:



Bilanțul general al procesului:

- din trei nucleee de ^4He (= particule α) se obține un nucleu de ^{12}C ;
- se eliberează o energie de $11,69 \cdot 10^{-13} \text{ J}$ pentru fiecare nucleu de ^{12}C .

O mică parte a nucleelor de ^{12}C reacționează cu nucleee de ^4He , ducând la formarea oxigenului:



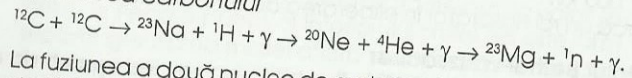
Dependența de temperatură a proceselor de fuziune

Productivitatea proceselor nucleare generatoare de energie depinde foarte mult de temperatură:

Procesul	Productivitatea proporțională cu
Reacții pp	$T^4 \dots T^6$
Ciclul C-N-O	$T^{15} \dots T^{20}$
Reacția heliului	T^{30}

Formarea elementelor grele. La temperaturi de $5 \cdot 10^8 \text{ K} \dots 2 \cdot 10^9 \text{ K}$ au loc procese de fuziune care duc la formarea magneziului și sulfului:

a) *Arderea carbonului*



La fuziunea a două nucleee de carbon, după formarea a doi izotopi instabili, de ^{23}Na și ^{20}Ne , se formează un nucleu de magneziu. Se eliberează un neutron și radiație electromagnetică.

b) Arderea oxigenului



La fuziunea a două nucleee de oxigen, după formarea a doi izotopi instabili, ^{31}P și ^{28}Si , se formează un nucleu de sulf. Se eliberează un neutron și radiație electromagnetică.

Neutronii eliberați de aceste reacții sunt importanți pentru formarea elementelor și mai grele (până la Fe), întrucât aceștia sunt neutri din punct de vedere electronic și se asociază ușor nucleelor existente.

- Formarea stelelor, p. 133. ➤ Evoluția stelelor, p. 134, 179.
- Radiația solară, p. 100.

Procesele de contracție

Stelele își acoperă energia aproape exclusiv din fuziuni nucleare. Doar în faza apariției stelelor, înaintea începerii reacțiilor nucleare, și în scurtele interfeze instabile, contracția prezintă importanță.

La contracția unei protostele, energia potențială a particulelor se transformă în energie cinetică. Steaua se încălzește până când se declanșează reacțiile nucleare și se atinge o stare quasistaționară. În timpul evoluției stelei survin în interiorul acesteia scurte perturbări de echilibru, acolo unde nu se eliberează încă destulă energie sau nu se mai eliberează destulă energie. În consecință, în acele locuri temperatura scade, iar presiunea gravitațională o depășește pe cea datorată gazelor și radiației. Interiorul stelei se contractă până în momentul în care creșterea temperaturii reinstalează echilibrul și o nouă sursă de fuziune își începe activitatea.

O stea de masă Soarelui și-ar putea menține strălucirea doar 20 milioane de ani dacă ar fi alimentată doar de contracție.

- ➤ Echilibrul mecanic, p. 124. ➤ Echilibrul termic, p. 124.

DIAGrame DE STARE; TIPURI DE STELE

Diagrama Hertzsprung – Russell (DHR)

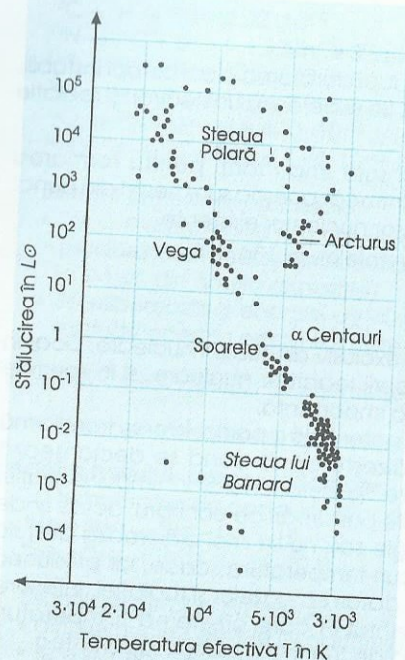
Diagramă de stare a stelelor în care, pe axa ordonatelor, sunt reprezentate strălucirea și/sau mărimea absolută, iar pe axa absciselor, temperatura și/sau clasa spectrală.

Starea fizică definește locul stelei în DHR. Aglomerarea de poziții ale stelelor pe DHR oglindește o evoluție relativ stabilă a stelelor.

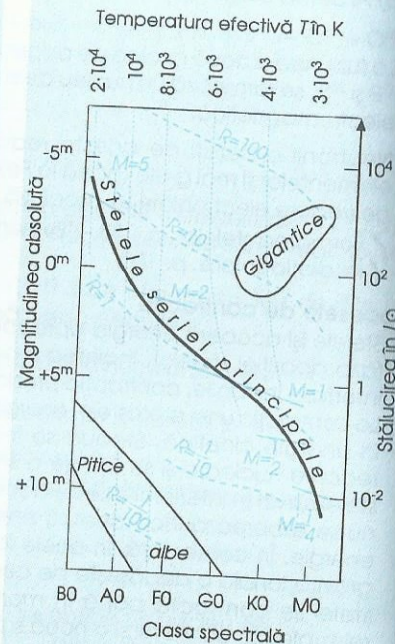
Seria principală (SP) descrie o diagonală pe DHR, din domeniul caracterizat de strălucire puternică și temperatură înaltă până în domeniul caracterizat de strălucire redusă și temperatură scăzută; majoritatea stelelor (cca 90%) sunt cuprinse în această diagonală.

Stelele aflate deasupra SP au străluciri mai intense și diametre mai mari, pe când cele aflate dedesubtul SP au străluciri mai reduse și diametre mai mici, la aceeași temperatură de suprafață.

De aceea, aceste stele sunt numite *gigantice*, respectiv *pitice*.



DHR pentru cele mai strălucitoare și mai apropiate stele



DHR cu linii de temperatură egală, masă egală și diametru egal

Stelele în DHR	
Stelele seriei principale	Stele plasate în afara seriei principale
Gigantice	Stele de clasă spectrală G până la M care se deosebesc de stelele seriei principale de aceeași clasă spectrală (respectiv temperatură) printr-o strălucire mai mare și un diametru mai mare; ele se află deasupra seriei principale.
Supragigantice	Stele cu o strălucire foarte puternică și cu un diametru foarte mare; sunt plasate deasupra seriei principale și deasupra giganticeilor.
Pitice albe	Stele cu o strălucire redusă, având o masă echivalentă cu a Soarelui și diametrul unei planete (↗ Densitatea medie, p. 119); sunt plasate cu circa 8-12 mag sub seria principală, în domeniul claselor spectrale de la B până la G.

- ↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179.
 ↗ Cercetarea structurii stelelor, p. 177

Stelele neutronice, pulsari

Stele cu o densitate foarte mare, de până la 1,4 – 2 mase solare și un diametru de numai câțiva km. Ele radiază în general în domeniul radio, având un puls regulat, cu o perioadă de la 10^{-3} s până la 10^1 s. Datorită strălucirii lor foarte reduse, ele nu sunt înregistrate în DHR; au fost descoperite în anul 1967.

↗ Densitatea medie, p. 119; ↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

Clasa de strălucire

Mărime care, în legătură cu clasa spectrală, desemnează strălucirea unei stele.

Simbolul pentru clasa de strălucire se adaugă clasei spectrale.

- Soarele este o stea de clasă spectrală G2 și de clasă de strălucire V:G2V.

Clasa de strălucire a stelelor	
Simbol	Clasă stelară
I	Supragigantice
II	Gigantice luminoase
III	Gigantice normale
IV	Subgigantice
V	Stelele seriei principale
VI	Subpitice

Diagrama culoare – magnitudine (DCM)

Diagramă analoagă DHR, în care magnitudinea aparentă este reprezentată pe axa ordonatelor, iar indicele de culoare pe axa absciselor. Este folosită pentru stelele cu o slabă magnitudine aparentă, pentru care magnitudinea absolută și clasa spectrală nu se pot determina. Când aceste stele au aproximativ aceeași distanță față de Pământ (de exemplu, roiuri de stele), liniile din DCM sunt deplasate paralel, cu o anumită valoare, față de liniile din DHR.

Indicele cromatic (IC). Diferența dintre magnitudinile stelelor în diferite domenii spectrale:

$$IC = m_{unde\ scurte} - m_{unde\ lungi} \quad \text{de ex. } m_{albastru} - m_{galben}$$

Diferența este dependentă de traiectoria curbilor intensității spectrale. Altfel, IC este un echivalent al temperaturii stelelor.

Convențional,

IC = 0 la stelele AO ale seriei principale;

IC pozitiv : magnitudine albastră > magnitudine galbenă → stele fierbinți;

IC negativ : magnitudine albastră < magnitudine galbenă → stele mai puțin fierbinți.

IC poate fi determinat relativ simplu și exact la stelele cu o strălucire slabă.

↗ Diagrama Hertzsprung – Russell, p. 127;

↗ Magnitudinea stelelor, p. 107;

↗ Temperatura stelelor, p. 113;

↗ Clasa spectrală, p. 120;

↗ Roiurile de stele, p. 142;

↗ Legile radiației, p. 114.

Stelele duble

Tipuri de stele duble	
Stele duble fizice	Stele duble optice
Pereche de stele ce se rotesc în jurul unui centru de greutate comun.	Stele aflate întâmplător pe direcția privirii, dar care sunt la o depărtare diferită față de Pământ.

Doar *stelele duble fizice* prezintă interes pentru astronomie.

Tipuri de stele duble	
Stele duble vizuale	Pot fi sesizate ca fiind despărțite una de alta cu ajutorul lunetei.
Stele duble spectroscopice	Chiar apelând la cele mai bune mijloace optice auxiliare, pot fi observate separat doar prin metode speciale (✓ Interferometria Speckle, p. 116). Sunt recunoscute ca stele duble prin deplasări periodice ale liniilor în spectrul lor comun.
Stele duble fotometrice	Sunt recunoscute ca stele duble prin modificarea magnitudinii caracteristice.
Stele duble astrometrice	Sunt recunoscute ca stele duble din mișcarea de balansare a orbitei unei stele, prin care se deduce existența unei stele însoțitoare neobservabile.

Stelele multiple

Mai mult de două stele care, ca urmare a atracției reciproce, formează o unitate fizică. Adesea, componentele unui sistem multiplu sunt stele duble.

- Mizar (ξ UMa) formează cu Alcor (11'50" distanță) și o altă stea mai îndepărtată (14,5" distanță) o stea triplă vizuală. Toate cele trei componente sunt, în afară de aceasta, stele duble spectroscopice. Dintre acestea, una pare a fi din nou o stea dublă astronomică. Astfel, sistemul Mizar / Alcor ar fi compus din șapte stele.

Variabile, stele variabile

Stele cu o magnitudine variabilă în timp, ca urmare a unor modificări mai mult sau mai puțin periodice ale mărimilor de stare (*variabile fizice*) sau a efectelor de acoperire (*variabile optice*, *variabile de acoperire*).

Prescurtare: Genitivul latin al numelui constelației este precedat de una sau două majuscule sau de un V însoțit de un număr format din trei cifre, mai mare sau egal cu 335.

- T Tau; AR Cas; V357 Car

Grupele principale de stele variabile

Variabile fizice	Variabile optice
Stele aflate în stadii diferite de evoluție, la care mărimile de stare – între care magnitudinea – variază regulat, semiregulat sau neregulat.	Stele duble fizice, al căror plan al orbitei se desfășoară în direcția observației, astfel încât componentele se acoperă periodic (variabile de acoperire). Fiecare dintre cele două componente are în general o magnitudine constantă.

✓ Evoluția stelelor, p. 134, 179;

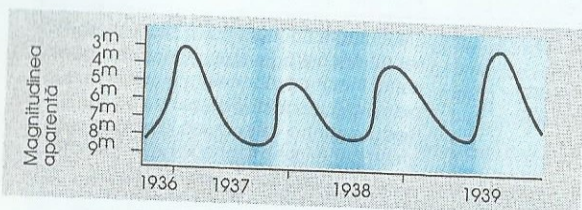
✓ Masa, p. 118, 124

Tipuri de variabile fizice

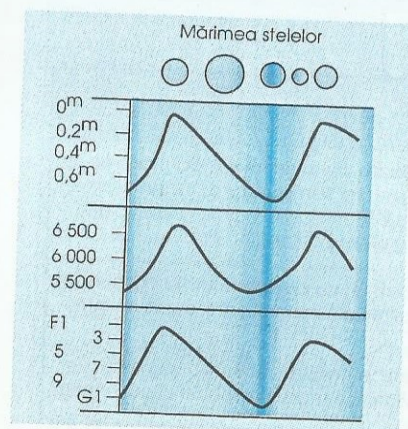
Pulsantele	Pulsanța straturilor exterioare ale stelei modifică mărimile de stare: raza, densitatea medie, temperatura, magnitudinea, tipul spectral; se găsesc într-un stadiu înaintat de evoluție; în DHR se află deasupra seriei principale.
Stelele RR-Lyrae	Gigantice periodic variabile, cu perioade de la câteva ore până la circa o zi și oscilații ale magnitudinii cuprinse între 0,5 mag și 1,5 mag.
Stelele δ – Cephel	Gigantice și supragigantice periodic variabile cu perioade de la 1 la 100 zile și oscilații ale magnitudinii de circa 1 mag.
Stelele Mira	Gigantice și supragigantice variabile periodic, cu perioade de 80 până la 1000 zile, ca și oscilații ale magnitudinii de la 2,5 mag până la 10 mag.
Stelele eruptive	Procese care au loc în straturile exterioare determină o creștere sensibilă a magnitudinii; au loc în stadiul de început sau de sfârșit al evoluției unei stele.
Stelele T – Tauri	Variabile neregulate cu o rapidă modificare a magnitudinii până la 4 mag; se află în stadiul premergător seriei principale.
Novele	Variabile cu schimbare instantanee a magnitudinii până la 20 mag; se află probabil într-un stadiu târziu de evoluție.
Supernovele	Variabile cu masă mare, destul de rare, cu modificări extreme ale magnitudinii de 20 mag; în Calea Lactee, ultima supernovă a fost observată în 1604; după explozie, aceste stele evoluează probabil în stele neutronice sau găuri negre.

✓ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

- Supernova descoperită la 23.02.1987 în Marele Nor al lui Magellan este prima a cărei evoluție a fost urmărită, în toate fazele, cu aparate moderne de cercetare.



Curba luminii la Mira



Modificări ale mărimilor de stare la o stea δ – Cephei în timpul unei perioade.
Deasupra: modificarea magnitudinii
Mijloc: temperatura (în K)
Jos: tipul spectral

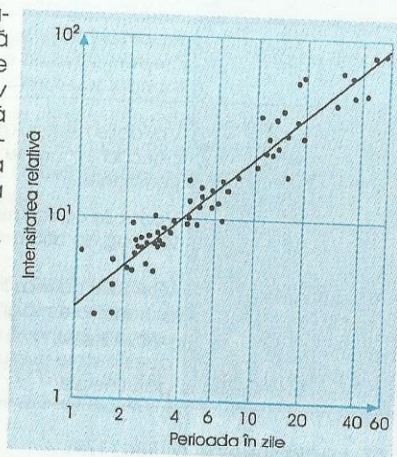
Relația perioadă – magnitudine

Pentru stelele δ – Cephei este adevărată afirmația: cu cât este mai lungă perioada, cu atât este mai mare magnitudinea absolută (respectiv strălucirea). Din perioada observată poate fi dedusă magnitudinea (respectiv strălucirea). Din magnitudinea absolută și magnitudinea observată poate fi calculată distanța.

Intrucât stelele δ –Cephei sunt gigante cu o mare magnitudine absolută, ele pot fi observate și în sistemele stelare extragalactice. Pe această cale ar putea fi calculată distanța față de sistemele stelare.

➤ Determinarea distanței, p. 109.

Relația perioade-magnitudini pentru δ –Cepheide



COSMOGONIA STELELOR

Formarea stelelor

Stelele apar, în anumite condiții, în norii interstelari, atunci când particulele componente ale norilor încep să se contracte sub acțiunea propriei gravitații. Astfel, energia potențială este transformată în energie cinetică. Odată cu creșterea densității cresc temperatura și presiunea gazelor în masa de gaze contractată, fenomen ce se desfășoară îndeosebi în zonele centrale.

Faza de contracție este cu atât mai scurtă, cu cât masa de gaz care se contractă este mai mare. În momentul în care temperatura atinge, în zonele centrale, aproximativ $5 \cdot 10^8$ K, se declanșează reacțiile nucleare.

Corpurile cerești ce iau astfel naștere evoluează în stele ale seriei principale. În DHR, acestea sunt reprezentate în porțiunea seriei principale, care corespunde masei lor.

➤ Starea de echilibru a stelelor, p. 124;

➤ Procesele de emisie de energie, p. 125, 179;

➤ Diagrama Hertzsprung – Russell, p. 127;

➤ Materia interstelară, p. 9, p. 144.

Dependența duratei de contracție, a temperaturii de suprafață atinse și a clasei spectrale în momentul formării stelelor față de masă			
Masa (în mase solare)	Durata aproximativă până la formarea stelelor seriei principale (în 10^6 ani)	Temperatura de suprafață aproximativă	Clasa spectrală
		a stelelor aflate în formare	
0,65	150	4400 K	K3
1,00	30	5850 K	G1
1,55	8	7500 K	F0
2,29	3	9300 K	A3

Formarea stelelor duble

Stelele se formează aproape întotdeauna în roiuri. Dacă două stele se află una în câmpul de atracție ale celeilalte, atunci acestea se rotesc în jurul unui centru de greutate comun și formează un sistem de stele duble.

În mod asemănător apar și sistemele de stele multiple. La acestea, rotația are loc după reguli mai complicate.

➤ Stelele duble fizice, p. 130; ➤ Stelele multiple, p. 130.

Formarea planetelor din stele

Când norul care se contractă se rotește foarte repede, materia interstelară se aplatizează. Din partea centrală a acestui disc, mai densă și cu masă mai mare, poate lua naștere o stea, iar din regiunile periferice, cu densitate și masă mai mică, pot lua naștere alți corpuri cerești, precum planete și sateliți. Conform acestui scenariu, sistemele planetare nu trebuie să constituie o raritate în jurul stelelor.

Ca urmare a răcirii ce survine în exteriorul discului, din ce în ce mai multă materie se condensează.

Particulele de praf și rezultatele condensării se aglomerează, prin ciocnire, în blocuri de dimensiuni mai mari, denumite planetezimale. Prin contopirea planetezimalelor, protoplanetele se încălzesc puternic sub acțiunea presiunii gravitaționale și a proceselor radioactive. Prin scufundarea elementelor grele aflate în compoziție (Fe, Ni) se produce o diferențiere a materialelor. Restul materialului aflat în componența discului, ce nu a fost folosit pentru formarea planetelor și a sateliților, rămâne în cadrul sistemului planetar sub formă de comete, planetoizi, meteoriți.

➤ Formarea Sistemului Solar, p. 96.

Evoluția stelelor

Eliberarea de energie conduce la transformări ireversibile în stea. Ea parcurge trei faze de dezvoltare:

- faza seriei principale;
- faza giganticii;
- faza finală.

Fazele principale în evoluția unei stele	
Faza seriei principale	Eliberare de energie prin transformarea hidrogenului în heliu în nucleul stelei (reacție pp, ciclu C-N-O). Cea mai lungă fază evolutivă a fiecărei stele. Durata acestei faze depinde de masă (adică de rezervele de hidrogen din nucleu) și de strălucire. După epuizarea rezervelor de hidrogen din nucleu are loc contracția nucleului; temperatura crește până la aproximativ 10^8 K, ca urmare a transformării energiei potențiale în energie cinetică.
Faza giganticii	Eliberare de energie prin transformarea în nucleul stelei a heliului în carbon și alte elemente (reacția heliului). Continuarea reacției pp într-un înveliș care înconjoară nucleul. Mărirea dimensiunilor învelișurilor exterioare. Durata acestei faze este mai scurtă decât în stadiul seriei principale. Parcurgerea fazelor în care steaua apare ca variabilă.
Faza finală	După epuizarea surselor de energie, în funcție de masa remanentă, steaua se transformă într-o pitică albă, o stea neutronică sau o gaură neagră.

- Masa, p. 124;
- Procesele de emisie de energie, p. 125, 179.
- Diagrama Hertzsprung – Russell, p. 127.
- Variabile, stele variabile p. 130;
- Stelele neutronice, p. 129.
- Determinarea masei cu ajutorul relației masă-strălucire, p. 118
- Elaborarea unei teorii asupra evoluției stelelor, p. 179

Găurile negre

Corpur cerești presupuse, având o mare densitate și un câmp gravitațional extrem de mare în jurul lor. La suprafață, accelerația gravitațională este atât de mare, încât nici particulele, nici radiația electromagnetică nu pot părăsi obiectul. Găurile negre nu pot fi puse în evidență prin mijloace directe.

Teoretic, găurile negre se formează în stadiile finale ale evoluției unei stele. Ele iau naștere din stele a căror masă este de cel puțin 2 – 2,5 ori mai mare decât masa Soarelui.

Dezvoltarea vieții în Cosmos

Evoluția naturală a vieții presupune ca primă treaptă a evoluției biologice o autoorganizare chimică a materiei.

Ipoteze. Condițiile esențiale pentru evoluția vieții în Cosmos sunt:

- Existența materiei prime organice. Aceasta poate fi dovedită pe numeroase căi.
- Existența planetelor într-un sistem potrivit al seriei principale. Această stea nu trebuie să aibă o masă prea mare, deoarece evoluția sa se desfășoară prea rapid pentru a permite existența perioadei de timp necesare pentru dezvoltarea vieții. Pe de altă parte, masa stelei nu trebuie să fie nici prea mică, pentru ca strălucirea sa să permită cel puțin încălzirea planetelor aflate în imediata apropiere. Aceste condiții sunt cel mai bine îndeplinite de către stelele seriei principale de clasă spectrală G și de cele ale domeniilor învecinate, de clasă spectrală F și K.
- Condiții pentru formarea pe căi anorganice a acizilor nucleici și a protonilor (ex. radiație cosmică, fulgere, radiație ultravioletă). În locul legăturilor carbonului sunt imaginate și legături ale siliciului (la temperaturi înalte).
- Existența apei. În anumite condiții pot fi imaginați și alți dizolvanți, cum ar fi, la temperaturi joase, amoniacul.
- Existența unei atmosfere în care să se afle componente necesare menținerii și dezvoltării vieții; de asemenea, numărul componentelor dăunătoare vieții trebuie să fie redus.
- Un domeniu de temperatură în care legăturile moleculare ale carbonului (sau siliciului) să rămână viabile și active (circa $-25^{\circ}\text{C} \dots +70^{\circ}\text{C}$) („Ecosfera”).

Forme de viață în Cosmos. Formele de viață extraterestră se deosebesc probabil fundamental de formele de viață terestră. După cunoștințele actuale, viața este în primul rând legată de carbon, oxigen și apă. În alte condiții, există probabil alte substanțe-suport, cum ar fi siliciul și amoniacul, care preiau, într-o altă formă, funcțiile de evoluție și preservare a vieții.

Frecvența vieții în Cosmos. Ecuația lui Drake

Frank D. Drake (n. 1930), de la radioobservatorul Green Bank, din Virginia de Vest (S.U.A.), a stabilit, în 1961, împreună cu alți 10 participanți la o conferință având ca temă viața extraterestră, condițiile pentru existența unei vieți înalt - organizate și realizarea de contacte cu aceasta.

Ecuația lui Drake

(ecuația Sagan-Drake, ecuația Green Bank)

$$N = R \cdot k_1 \cdot n_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot n_2$$

unde:

- N – numărul de civilizații din Calea Lactee dezvoltate din punct de vedere tehnic;
 R – numărul de stele din Calea Lactee asemănătoare Soarelui;
 k_1 – numărul de stele de tip R care au sisteme planetare;
 n_1 – numărul de planete dintr-un sistem k_1 care posedă condițiile ecologice pentru apariția și dezvoltarea vieții;
 k_2 – numărul de planete de tip n_1 pe care există într-adevăr viață;
 k_3 – numărul de planete de tip k_2 pe care există viață inteligentă;
 k_4 – numărul de planete de tip k_3 pe care există civilizații cu o tehnică dezvoltată, în măsură să comunice cu civilizații de pe planete aflate la mare depărtare;
 n_2 – durata medie de existență a unei civilizații de tip k_4 .

Fiecare factor din ecuația lui Drake îl restricționează pe precedentul. Aprecierea valorii acestor factori variază în limite foarte largi. Ei depind de idei puternic subiective (k_2, k_3, k_4, n_2). Astfel, concluziile individuale ce se desprind din ecuația lui Drake evoluează de la existența vieții (inteligente) pe o singură planetă (Pământul), până la o mare frecvență a vieții (inteligente) în Univers.

Condiții pentru realizarea contactului cu civilizații extraterestre

- Inteligența căutată trebuie să existe (ecuația lui Drake).
- Aceasta trebuie ca, în momentul recepției mesajului terestru, să fie în stare din punct de vedere tehnic și să dorească să-l înțeleagă, să-l identifice și să răspundă (factorii k_4 și n_2 din ecuația lui Drake).
- Aceasta trebuie să se afle la o distanță la care să poată recunoaște că semnalul terestru (a cărui intensitate scade cu pătratul distanței) este de natură artificială.
- Răspunsul trebuie să survină într-un punct temporal în care civilizația terestră încă există.

Vârsta stelelor

Timpu scurs de la atingerea fazei seriei principale.

Determinarea vârstei stelelor

Ca și în cazul strălucirii și masei, există o limită superioară și pentru durata rămânerei stelei în faza seriei principale (t_{sp}). Dacă steaua se află încă în seria principală a DHR, atunci ea nu a atins încă această limită de vârstă (doar în cazuri excepționale se poate determina cât de tânără este steaua). ➤ Determinarea vârstei roiurilor de stele, p. 137;

Dacă steaua a părăsit deja seria principală, vârsta sa este mai mare decât t_{sp} .

$$t_{sp} \sim \frac{\text{Rezerva de energie (masa)}}{\text{Cantitatea de energie iradiată}} \sim \frac{m}{L} \quad L \sim m^{3.5}$$

➤ Relația masă – strălucire, p. 118.

$$t_{sp} \sim m^{-2.5}$$

Stelele

Întrucât doar în interiorul stelei există condiții pentru transformarea energiei, doar 10% din masa solară este depozitarea rezervei de energie.

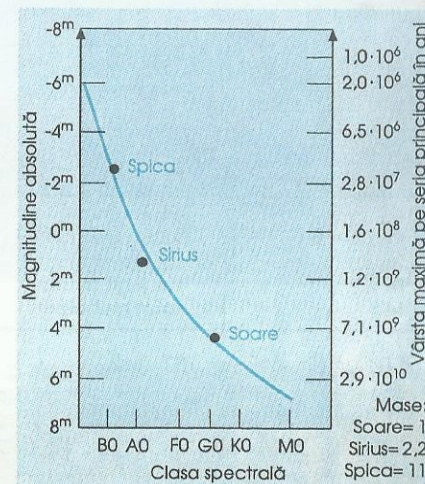
Fiecărei mase stelare îi corespunde un timp maxim de staționare t_{sp} în seria principală. Acesta este cu atât mai mic cu cât masa stelei este mai mare.

➤ Masa, p. 124.

➤ Determinarea masei cu ajutorul relației masă – strălucire, p. 118.

- Soarele are o vârstă de 4 până la 5 miliarde de ani. Stelele cu masă mai mare ce se găsesc încă în faza seriei principale (de exemplu Sirius și Spica), trebuie să fi apărut mai târziu decât Soarele, întrucât poziția lor pe DHR, care arată timpul de staționare în seria principală, indică faptul că vârsta lor este mai mică decât vârsta Soarelui.

Procesul formării stelelor nu este un proces unic, ci durează în Calea Lactee de mai multe miliarde de ani.

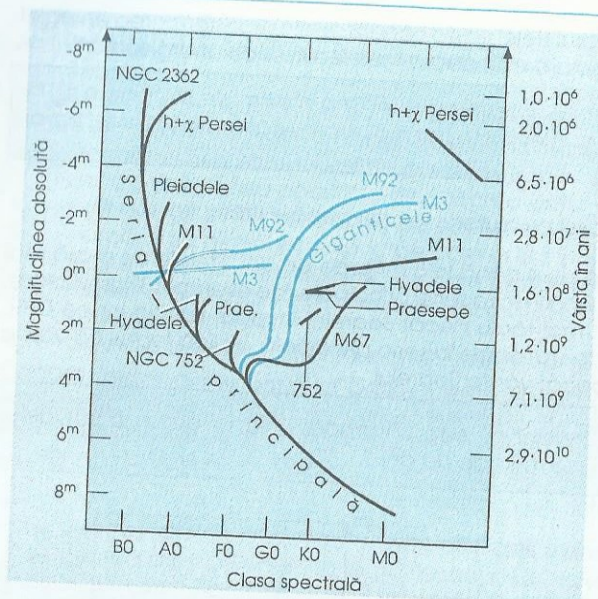


DHR cu seria principală și liniile de vârstă egală, împreună cu unele stele din seria principală

Determinarea vârstei roiurilor de stele

Stelele care fac parte din roiuri de stele (➤ p. 142) au apărut practic concomitent și au aceeași compoziție chimică. Ele se află la aproximativ aceeași distanță de Pământ. Întrucât au mase diferite, ele se dezvoltă diferit în timp. Stelele cu masă mai mare părăsesc deja seria principală, în timp ce stelele cu masă mai mică se află încă în seria principală. Granița dintre stelele ce tocmai au părăsit seria principală și cele care încă mai fac parte din seria principală poartă numele de *punct de rupere*.

Vârsta t_{sp} corespunzând punctului de rupere este aceeași cu vârsta tuturor stelelor din roi.



DHR-ul roiurilor de stele

Vârsta roiurilor de stele		
Desemnare	Tipul roiului	Vârsta aproximativă
h și χ Per	roiuri deschise	$3 \cdot 10^4$ ani
Pleiadele	roiuri deschise	10^5 ani
Hyadele	roiuri deschise	$1,2 \cdot 10^7$ ani
M 92	roiuri globulare	5 până la $7 \cdot 10^9$ ani
M 3	roiuri globulare	6 până la $8 \cdot 10^9$ ani

➤ Roiuri de stele, p. 137, 142.

Toate determinările de vârstă conduc la concluzia că nici un corp ceresc nu este mai vechi de $12 \cdot 10^9$ până la $15 \cdot 10^9$ ani.

➤ Vârsta Universului, p. 160;

➤ Determinarea vârstei proceselor cosmice, p. 161;

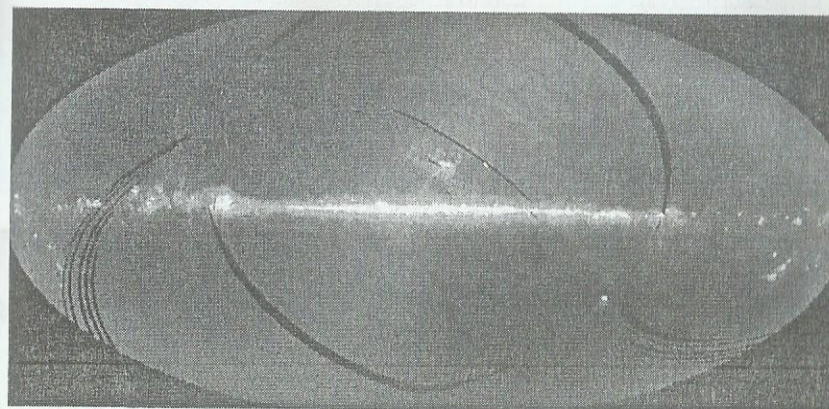
➤ Teoria exploziei inițiale, p. 161, 181.

Sistemele stelare

GALAXIA CALEA LACTEE

Calea Lactee

Sistemul de stele în care se găsește Soarele – una dintre cele aproximativ 200 miliarde de stele.

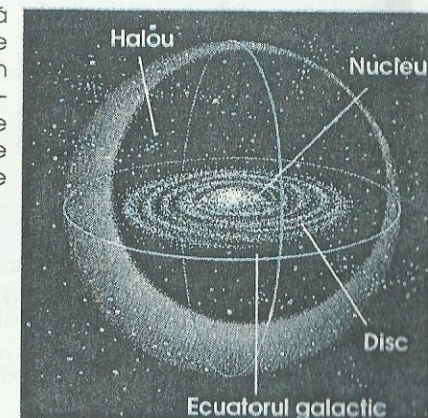


Calea Lactee

Bandă cu o luminositate redusă și cu o limită neregulată, care se arcuiește pe bolta cerească în lungul unui uriaș cerc. La observarea cu o lunetă, Calea Lactee se descompune într-o mulțime de stele. Toate obiectele Căii Lactee aparțin sistemului Căii Lactee.

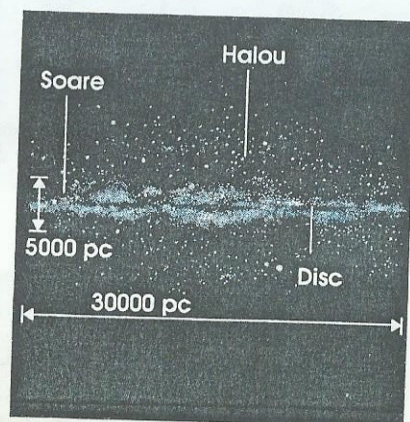
Structura Căii Lactee.

Un nucleu compact este înconjurat de disc. Ambele sunt cuprinse în halou. Întregul sistem este înconjurat de un înveliș bine dezvoltat, format din materie lipsită de luminositate.

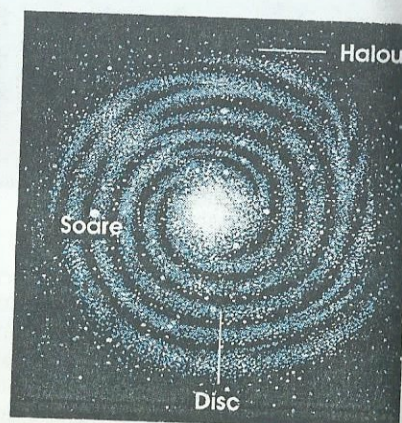


Structura Căii Lactee

Nucleu	Diametru ≈ 5 kpc; radiație intensă radio și infraroșie; nu poate fi pus în evidență optic din cauza norilor întunecați dispuși în jurul său.
Discul (înconjoară nucleul)	Diametru ≈ 30 kpc; grosimea în apropierea nucleului ≈ 5 kpc; grosimea în domeniul marginal ≈ 1 kpc; constă din mai multe brațe spirale, aflate aproximativ în același plan, marcate prin stele fierbinți, nebuloase și materie interstelară. Între brațele galaxiei se află stele cu o luminosități redusă.
Haloul (înconjoară nucleul și discul)	Aproape sferic; diametrul ≈ 50 kpc; constă în principal din nebuloase sferice și stele variabile de tip RR Lyrae.
Coroana (înconjoară nucleul, discul și haloul)	Materie lipsită de luminosități; diametru probabil mai mare de 120 kpc.



Vedere laterală a sistemului Căii Lactee



Proiecție orizontală a sistemului Căii Lactee

Structura spirală. De pe Pământ, structura spirală a Căii Lactee poate fi doar într-o mică măsură observată. Cunoștințe esențiale despre structura spirală a sistemului Căii Lactee au fost dobândite în urma observațiilor în domeniul radio.

Până acum, au fost cercetate trei porțiuni de brațe care se află în apropierea Soarelui.

Sistemele stelare

Brațul Sagittarius	În direcția constelației Săgetătorului (lat. Sagittarius); se află între Soare și nucleul sistemului Căii Lactee.
Brațul Orion	La marginea sa se află Soarele, la circa 10 kpc de centrul sistemului Căii Lactee.
Brațul Perseu	Acesta se află la circa 2 kpc în exteriorul brațului Orion.

Distanța medie dintre brațele spiralei este de 1,5 kpc.

Locul Soarelui în sistemul Căii Lactee	
Depărtarea față de centru	aproximativ 8,5 kpc
Depărtarea față de planul Căii Lactee	15 pc spre nord
Direcția de la Soare la centru	spre constelațiile Omul cu șarpele și Săgetătorul
Direcția de la Soare în sens opus centrului	spre constelațiile Vizitiul și Taurul

Date despre sistemul Căii Lactee		
Diametru	Coroană Halou Disc Nucleu	aproximativ 120 kpc aproximativ 50 kpc aproximativ 30 kpc aproximativ 5 kpc
Masa	Stele Materie interstelară	aproximativ 10^{12} mase solare aproximativ 10^{10} mase solare
Densitate medie		aproximativ 0,15 mase solare pe pc^3 ($\approx 10^{-23} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$)
Luminositatea generală		aproximativ $2,5 \cdot 10^{10}$ luminosități solare ($\approx 10^{37} \text{ W}$)
Strălucirea absolută		$-20,5^m$

➤ Speculații și prime cercetări asupra structurii sistemului Calea Lactee, p. 175.

➤ Explorarea structurii galaxiei, p. 180.

➤ Densitatea medie, p. 119.

➤ Magnitudine absolută, p. 107.

Roiurile de stele

Aglomerări de stele având aceeași vârstă și același punct de origine în spațiu pe bolta cerească, în multe cazuri, acestea sunt ușor de recunoscut prin densitatea de stele. Roiurile de stele se află atât în sistemul Căii Lactee, cât și în alte galaxii.

Clasificarea roiurilor de stele:

- asociații de stele;
- roiuri mobile;
- roiuri deschise;
- roiuri globulare.

Asociațiile de stele

Roiuri de stele cu o densitate stelară redusă. Înrudirea dintre stele este probată de concordanța existentă între spectrele astrale. Asociațiile de stele fac parte dintre cele mai tinere obiecte din Calea Lactee.

Tip	Membri	Vârstă
Asociații T	Stele variabile de tip T Tauri	10^5 până la 10^7 ani
Asociații OB	Stele O și B tinere	10^4 până la 10^7 ani

- Cele trei „stele-cordon” din constelația Orion aparțin unei asociații OB de mari dimensiuni.

Roiurile mobile

Stele a căror înrudire este reflectată de mișcarea comună în spațiu, cu aceeași viteză și în aceeași direcție. Ca urmare a densității stelare reduse, ele nu apar decât în mod excepțional ca roiuri de stele.

- Stelele roiului Ursa Maior apar, ca urmare a depărtării reduse la care se află, răspândite pe întreaga sferă cerească. Acestui roi îi aparțin 5 stele ale constelației Ursa Mare.

Roiurile deschise

Aglomerări de până la câteva sute de stele de aceeași vârstă. Acestea se remarcă pe sfera cerească printr-o densitate stelară mărită, prezentând însă o concentrație scăzută spre centrul roiului.

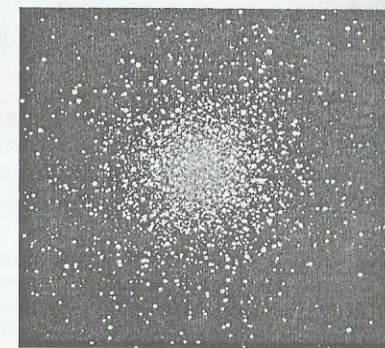
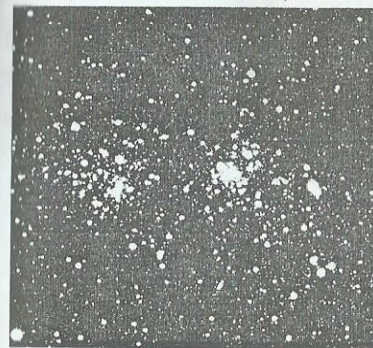
Masa	100 până la 1000 de mase solare
Diametrul real	1 pc până la 20 pc
Diametrul aparent	0,5' până la 1° (excepții: Pleiadele, 1,7°; Hyadele, 7°)
Densitatea stelară spațială	2 până la 500 mase solare pe pc^3
Număr total în sistemul Căii Lactee	aproximativ 18 000 (presupus)

Roiurile deschise se găsesc, aproape fără excepție, foarte aproape de planul central al sistemului Căii Lactee. Ele nu sunt stabile, ci se dezintegrează treptat. Roiurile deschise existente astăzi pot avea în general, o vârstă de numai 10^4 sau 10^5 ani; ele se numără printre cele mai tinere obiecte din sistemul Căii Lactee.

- Roiuri deschise cunoscute se află în constelațiile Taurului (Pleiadele și Hyadele) și Racului (Praesepe).

✓ Structura Căii Lactee, p. 140.

✓ Vârsta roiurilor de stele, p. 142.



Două roiuri deschise în constelația Perseu Roi globular în Hercules

Roiurile globulare

Concentrații de 10^5 până la 10^8 stele, care apar pe sfera cerească sub forma unor regiuni cu o densitate stelară foarte mare. Ele sunt sfero-simetrice și sunt puternic concentrate spre centrul roiului.

Diametru real	10 pc până la 200 pc
Diametru aparent	0,4' până la 25'
Densitate stelară spațială în centru	până la 10^4 mase solare pe pc^3
Număr total în sistemul Căii Lactee	peste 120
Luminozitate	de circa 10^6 ori puterea de iluminare a Soarelui ($4 \cdot 10^{31}$ W)

Roiurile globulare învâluie sub forma unor nori cu formă aproximativ sferică (halou) sistemul Căii Lactee. Ele se numără printre cele mai vechi componente ale sistemului Căii Lactee; vârsta lor se situează între $10 \cdot 10^9$ și $15 \cdot 10^9$ ani.

Și în alte sisteme stelare au fost descoperite roiuri globulare.

- Unul dintre roiurile globulare ce oferă printre cele mai bune condiții de observare cu ochiul liber se află în constelația Hercules.
 ↗ Structura Căii Lactee, p. 140.

Materia interstelară

Materie și câmpuri în spațiul dintre stelele unui sistem stelar. Într-un sens mai restrâns, prin materie interstelară se înțelege o masă de gaz sau de praf cu o densitate și o extindere diferită.

Gazul și praful apar în materia interstelară de cele mai multe ori împreună, praful stelar constituind în medie 1% din masa comună.

Într-un volum de mărimea Pământului este conținut, în medie, doar 1 kg de materie.

- În sistemul Căii Lactee, materia interstelară este dispusă într-un strat de numai 300 pc grosime în câmpul central al discului și concentrată în brațele spirale. Materia interstelară este prezentă și în alte sisteme stelare.
 ↗ Structura sistemului Calea Lactee, p. 140.

Gazul interstelar

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	Electroni, ioni, atomi (circa 75% hidrogen, circa 23% heliu), în unele locuri și molecule (printre altele H_2 , H_2O , SO_2 , CO , HCN , H_2S , C_2H_5OH). Moleculele își au originea în cantitatea redusă de elemente grele. Totuși, ele au o importanță hotărâtoare pentru apariția stelelor și a planetelor.
Densitatea	În regiunile din vecinătatea Soarelui, circa $10^{-24} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$ (în medie o particulă la un cm^3 ; în norii denși 10^4 particule la un cm^3).
Forme de stare	Nori difuzi <i>Hidrogen neutru.</i> Viteza medie a particulelor corespunde unei temperaturi de circa 80K; norii au un diametru cuprins între 1 pc și 100 pc. <i>Hidrogen ionizat.</i> Temperatura este de 8 000–10 000 K. Acești nori ocupă circa 5% din volumul galaxiei Calea Lactee. Norii moleculari Înglobează circa 50% din masa materiei interstelare. Ei sunt compuși în special din hidrogen molecular, au un diametru tipic în jur de 40 pc și temperaturi de circa 10K. În afară de hidrogen, au în componență legături ale H, C, N, O, Si, S și alte câteva elemente. Norii moleculari sunt domeniile în care se formează stelele.

	Gazul dintre nori <i>Gazul neutru.</i> Norii difuzi și norii moleculari sunt cuprinși într-un gaz difuz, care împiedică expansiunea acestor nori. Gazul dintre nori cuprinde circa 25% din masa materiei interstelare și are o temperatură de $10^3 - 10^4 \text{ K}$. <i>Gazul ionizat.</i> În timpul exploziei unei supernove sunt expulzate mari cantități de gaz care, prin impact, ionizează gazul neutru aflat între nori. Gazul ionizat are temperaturi cuprinse între 10^5 și 10^7 K. În apropierea Soarelui, gazul ionizat contribuie cu mai puțin de 1% la masa materiei interstelare.
Aspect	<i>Optic luminos,</i> când atomul de gaz, în urma excitației sale de către radiația stelei fierbinți învecinate, emite lumină. S-a observat o <i>nebuloasă difuză</i> (numită <i>nebuloasă de emisie</i>, întrucât descompunerea luminii sale dă o <i>linie spectrală de emisie</i>). <i>Optic neluminos,</i> totuși posibil de pus în evidență în spectrele stelelor ce se află în spatele acestora. La punerea în evidență se folosesc radiotelescoapele, întrucât hidrogenul și majoritatea moleculelor emit unde radio.

Praful interstelar

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	Încă necunoscută, probabil, în parte, particule de silicați
Densitatea medie	$10^{-26} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$
Dimensiunea medie a particulelor	0,1 μm
Temperatura	10 K până la 20 K
Aspect	<i>Optic luminos,</i> când particulele de praf reflectă lumina stelelor din apropiere. S-a observat o <i>nebuloasă luminoasă</i> (<i>nebuloasa de reflexie</i>); la descompunerea luminii sale se obține spectrul luminii stelare, un <i>spectru continuu</i>, cu <i>linii de absorbție</i>. <i>Optic neluminos.</i> Norii de praf denși și cu o mare extindere absorb atât de mult din lumina stelei aflate în spate, încât ei apar ca nori întunecați. Masele de praf de dimensiuni mai reduse atenuază, disipă și înroșesc lumina ce îi traversează. Poate fi observată radiația infraroșie emisă de masele de praf din jurul unei stele.

Radiația cosmică

Parte a materiei interstelare.

Compoziție	90% protoni, 9% nuclee de heliu, 1% alte nuclee atomice.
Origine	În parte solară, în parte datorată exploziei unei supernove; în parte posibil din alte sisteme stelare.
Proprietăți speciale	O energie a particulelor deosebit de mare (10^3 MeV până la 10^{14} MeV = 10^{-4} J până la 10^7 J pe particulă).
Posibilități de observare	<i>Radiația primară</i> (de fapt radiație cosmică) este observabilă doar de dincolo de straturile dense ale atmosferei terestre (de pe sateliți artificiali sau sonde spațiale). În urma impactului dintre o particulă cu o particulă din atmosfera terestră apare <i>radiația secundară</i> ce atinge uneori suprafața terestră, putând fi înregistrată aici.

5

Mișcarea stelelor

Modificarea poziției stelelor în cadrul sistemului Căii Lactee.

Mișcările stelelor		
Mișcarea individuală		Mișcare în jurul centrului sistemului Căii Lactee
neregulată	ordonată	

Observarea mișcării stelelor

Mișcarea în spațiu nu poate fi măsurată nemijlocit. Poate fi măsurată doar mișcarea proprie și viteza radială.

Mișcarea proprie	Proiecția mișcării spațiale reale pe sfera cerească, observată ca modificare temporală a poziției stelei pe sfera cerească vertical pe direcția de observație; măsurată în secunde de arc pe secol.
Viteza radială	Componenta mișcării spațiale reale ce se desfășoară în direcția de observație; generează o translație a liniilor spectrale în spectrul stelar (<i>efectul Doppler</i>). Viteza radială este măsurată în $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ (valorile pozitive înseamnă creșterea depărtării față de Pământ, iar valorile negative scăderea acesteia).

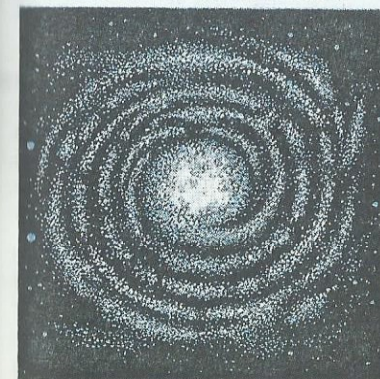
- Mișcarea proprie a Stelei Polare măsoară $4,6''$ pe secol, iar viteza sa radială $-13 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Mișcarea peculiară este mișcarea unei stele în spațiu în relație cu stelele din proximitatea ei. Vitezele și direcțiile mișcării peculiare a stelelor sunt clasificate statistic. O excepție o reprezintă roiurile mobile, în care stelele componente au aceeași direcție de mișcare și aceeași viteză.

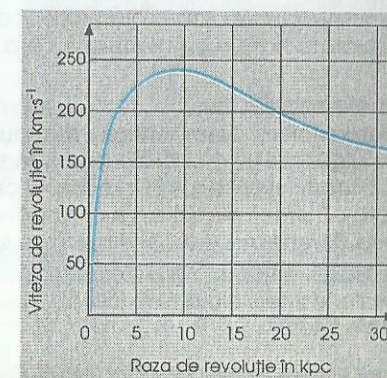
➤ Roiurile mobile, p. 142.



Mișcările proprii ale stelelor din constelația Cassiopeea

 rotația sistemului Calea Lactee

Rotația sistemului Calea Lactee



Viteza de revoluție în raport cu raza de revoluție a unei stele din sistemul Calea Lactee. Porțiunea plată a curbei în domeniul de peste 30 kpc este influențată de marea masă a coroanei întunecate.

Mișcărilor peculiare ale stelelor le este suprapusă o largă mișcare de revoluție în jurul centrului sistemului Căii Lactee. Stelele descriu orbite aproape eliptice. Nucleul sistemului Căii Lactee se rotește ca un corp rigid.

- Soarele se rotește în jurul centrului sistemului Căii Lactee cu o viteză de $220 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$. El are nevoie pentru o rotație de circa $2,4 \cdot 10^8$ ani.

➤ Structura sistemului Căii Lactee, p. 140.

5

SISTEME STELARE EXTRAGALACTICE

Galaxiile

Sisteme stelare aflate în exteriorul sistemului Căii Lactee (sistem stelar extragalactic). Galaxiile apropiate și relativ ușor observabile sunt denumite după constelațiile cuprinse, pe sfera cerească, între granițele lor.

Gruparea galaxiilor	
Formele cele mai frecvente	Frecvența
Sisteme spirale și pseudospirale	60%
Sisteme eliptice	25%
Sisteme neregulate	4%
Forme speciale	11%

Galaxiile apar în lunetă ca imagini șterse, slab luminoase, cu o structură parțial detectabilă. Ele sunt foarte numeroase; până la strălucirea aparentă de 20^m sunt vizibile pe sfera cerească $2 \cdot 10^6$ galaxii. Pe o bandă lată de $20^\circ - 40^\circ$ în lungul Căii Lactee, acestea sunt acoperite de praful interstelar conținut în galaxia noastră.

- 5 ■ Singurul sistem extragalactic vizibil cu ochiul liber din Europa este *nebuloasa Andromeda* (denumirea greșită de „nebuloasă” provine dintr-un timp în care adevărata natură a sistemelor nu era cunoscută încă).

Sistemele spirale

Sisteme stelare, asemănătoare sistemului Căii Lactee, care, la o privire asupra planului discului, prezintă o structură spiralată. Brațele spirale se află într-un strat foarte subțire, plat, în câmpul central al sistemului. Observațiile radio arată că structurile spirale sunt răspândite până la mari distanțe, dincolo de limita domeniului vizibil prin mijloace optice.

Alcătuirea sistemelor spirale:

- materie interstelară luminoasă;
- stele tinere;
- asociații de stele;
- roluri deschise de stele.

Aceste obiecte au o vârstă mai mică de 10^8 ani. Deși ele înglobează doar o mică parte a masei totale a sistemului, se remarcă prin puternica lor emisie de lumină.

Multe sisteme spirale sunt, la fel ca sistemul Căii Lactee, înconjurate de un halou de roiuri globulare. În timpul rotației, sistemul stelar atrage după sine și brațele spirale; domeniile exterioare ale sistemului stelar se rotesc mai lent decât interiorul. Pattern-ul sistemului spiral nu are probabil o structură materială durabilă, ci apare prin propagarea densității, care conduce la formarea stelelor din materia interstelară.

➤ Structura Căii Lactee, p. 140.

Sisteme spirale	
Masa	în medie 10^{12} mase solare
Strălucirea absolută	-18^m până la -21^m
Proporția de materie interstelară	1% până la 15%

Sistemele pseudospirale. Sisteme stelare cu structură spirală, ale căror brațe spirale nu încep din nucleu, ci din zona marginală a nucleului. Brațele sistemului au o lungime de 5 kpc până la 10 kpc.



Sistemul pseudospiral M83



Sistemul spiral M51 (în constelația Căinii de Vânătoare)

Sistemele eliptice

Sisteme stelare fără o structură internă observabilă, de cele mai multe ori cu o formă simetrică. Caracteristic este faptul că acestea aproape că nu au în alcătuirea lor materie interstelară și că stelele fierbinți O și B nu există. Galaxiile eliptice au în compoziție, într-o mare proporție, stele cu o luminozitate redusă.

Sisteme eliptice	
Mase	în medie 10^{11} mase solare; în cazul galaxiilor pitice eliptice doar 10^8 mase solare; în cazul galaxiilor gigantice eliptice până la 10^{13} mase solare
Strălucirea absolută	în cazul galaxiilor pitice eliptice -10^m ; în cazul galaxiilor gigantice eliptice -22^m
Proporția de materie interstelară	sub 0,01%

În sistemele stelare eliptice nu se formează stele noi.

Sistemele neregulate

Sisteme stelare cu o formă și o structură haotică, asimetrică, adeseori fără un nucleu observabil. Dintre toate sistemele stelare, sistemele neregulate înglobează cea mai mare parte a materiei interstelare și numeroase stele tinere. În cadrul acestora are loc o foarte intensă activitate de formare de noi stele.

Sisteme neregulate	
Masă	În medie 10^9 până la 10^{10} mase solare
Strălucire absolută	-15 ^m până la -19 ^m
Proporția materiei interstelare	În medie 30%

Galaxie neregulată;
Marele nor al lui Magellan



- Cea mai apropiată galaxie neregulată este Marele Nor al lui Magellan, aflat în emisfera cerească sudică. Această galaxie nu este vizibilă din Europa.

5

Galaxiile active

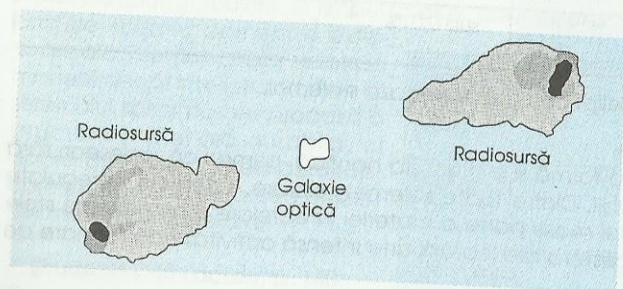
Sisteme solare care se remarcă prin proprietăți deosebite. În multe cazuri, sunt active în special nucleele acestor sisteme; durata activității este limitată la câteva milioane de ani.

Galaxii active:

- Galaxii cu o emisie radio intensă (radiogalaxii);
- Galaxii cu nuclee active;
- Galaxii cu sectoare proiectate în spațiul înconjurător.

Radiogalaxiile

Sisteme stelare a căror energie este emisă, în cea mai mare parte, sub formă de unde radio. Puterea lor de emisie în domeniul radio o depășește pe aceea a sistemelor stelare obișnuite de până la un milion de ori. Multe dintre radiogalaxii nu pot fi puse în evidență prin mijloace optice, în special din cauza marii lor depărtări față de Pământ. Sursele de emisie ale undelor radio se găsesc și la sistemele ce pot fi puse optic în evidență, de ambele părți ale galaxiei optice; probabil, aceasta este urmarea proceselor de natură explozivă care au loc în nucleul galaxiei.



Radiosursa Cygnus A.
Cele două surse se află pe bolta cerească la o depărtare de 2'. Intensitatea culorii corespunde cu intensitatea emisiei.

Galaxiile cu nuclee active

Sisteme solare cu nuclee foarte mici, asemănătoare stelelor, în care sunt observate explozii de radiații, modificări ale strălucirii, ca și emisii radio, Roentgen și infraroșii. În spectrele lor apar surprinzătoare linii de emisie. Cauza activității nucleare este încă necunoscută, fiind probabil produsă de implozia maselor (stele, materie interstelară) în găuri negre.

Problemele nerezolvate ale galaxiilor active: sursa uriașei energii, tipul proceselor de transformare energetică, cauza dublei structuri a radiosurselor.

Quasarii

Objekte cosmice care, la observații optice, apar sub forme stelare, a căror linii spectrale se deplasează puternic spre roșu și care au o puternică emisie radio. Puternica deplasare spre roșu a liniilor spectrale dovedește marea distanță care ne separă de quasari. Unii quasari au o strălucire variabilă.

Quasarii	
Intensitatea radiației	până la de 10^{14} ori intensitatea radiației solare = 10^{40} W
Depărtarea față de Pământ	până la 5000 Mpc

Geneza radiației quasariilor este încă neexplicată, în special datorită mărimii reduse a domeniilor emițătoare de energie (diametrul în general mai mic de 0,1 pc) și a uriașei energii de emisie. Până acum, în afara transformării energiei potențiale în radiație, nu mai este cunoscut nici un proces de eliberare de energie care să explice mulțumitor apariția quasariilor. Probabil, quasarii sunt nuclee active ale galaxiilor.

Mișcările sistemelor stelare

Sistemele stelare se deplasează în spațiu. Există două tipuri de mișcare. La sistemele stelare relativ apropiate, preponderentă este mișcarea neregulată. La sistemele îndepărtate se observă dominația a ceea ce se numește „fuga galaxiilor”.

Mișcări ale sistemelor stelare	
neregulate	regulate
Mișcare individuală (mișcare peculiară)	„Fuga galaxiilor”
Viteza medie este de $200 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$.	Viteza crește odată cu distanța.

Observarea mișcărilor. Datorită marii depărtări a sistemelor stelare față de Pământ, schimbarea poziției acestora pe bolta cerească este imposibil de observat. De aceea, nu se observă o mișcare proprie, ci, exclusiv, cu ajutorul efectului Doppler, o modificare a liniei vizuale (vitezei radiale) în spectrul sistemelor stelare.

Deplasarea spre roșu a liniilor spectrale dovedește că sistemele stelare se îndepărtează de Calea Lactee.

- ↗ Mișcarea stelelor, p. 146;
- ↗ Viteza de evadare, p. 58, 158;
- ↗ Constanta Hubble, p. 158, 181;
- ↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 180.

Distanța sistemelor stelare

Distanța sistemelor stelare față de sistemul Căii Lactee se determină prin diverse metode, în funcție de faptul dacă obiectele individuale din respectivele sisteme sunt observabile sau nu.

Determinarea distanței sistemelor stelare	
Obiectele individuale sunt observabile	din relațiile perioadă-strălucire ale stelelor Delta-Cephei, RR-Lyrae și a altor stele
Obiectele individuale nu sunt observabile	din luminozitatea aparentă și absolută a întregului sistem stelar (luminozitatea absolută derivă din investigații speciale), din deplasarea spre roșu a liniilor spectrale: $r = \frac{v}{H}$ v – viteza de evadare H – constanta Hubble

- Nebuloasa Andromeda se află la o distanță de $7 \cdot 10^6$ pc; cele mai îndepărtate sisteme stelare observabile cu telescoapele actuale se află la circa $5 \cdot 10^9$ pc distanță de sistemul Căii Lactee.

- Sistemele stelare se află, în medie, la o distanță de $3 \cdot 10^6$ pc unul de altul; această valoare este de 150 de ori mai mare decât diametrul unui sistem stelar mediu.

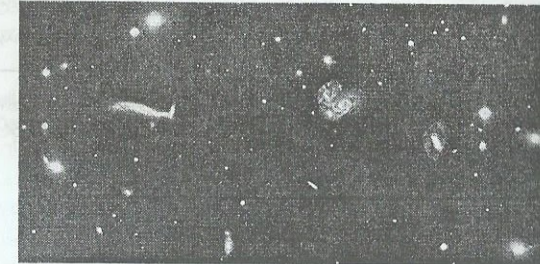
- ↗ Mișcările sistemelor stelare, p. 151;
- ↗ Viteza de evadare, p. 58, 158;
- ↗ Constanta Hubble, p. 158, 181.

Roiurile de galaxii

Aglomerări de sisteme stelare într-un volum limitat. Probabil, toate sistemele stelare sunt componente ale unor roiuri de galaxii.

Roiuri de galaxii	
Diametru	în medie 1 Mpc
Numărul de sisteme stelare dintr-un roi	10 până la 10 000
Densitatea spațială a sistemelor dintr-un roi	până la valori de 10^4 ori mai mari decât în cazul sistemelor stelare de sine stătătoare

Clasificarea roiurilor de galaxii	
roiuri regulate	sferico-simetrice, cu o concentrare a materiei în zona centrală (la fel ca în cazul roiurilor globulare); conțin în special sisteme stelare eliptice.
roiuri neregulate	fără simetrie și fără o concentrare a materiei în zona centrală (la fel ca în cazul roiurilor deschise); conțin sisteme stelare de toate tipurile.



Roiuri de galaxii

Multe roiuri de galaxii emit unde radio sau Roentgen. Marea densitate spațială a sistemelor stelare în roiurile de galaxii poate provoca ciocnirea acestora. Aceasta ar putea să explice apariția sistemelor stelare eliptice în roiurile regulate, întrucât, în urma coliziunii, materia interstelară din sistemele stelare participante este îndepărtată. Roiurile de galaxii sunt denumite după constelațiile în ale căror granițe sunt observate pe bolta cerească.

- Roiul Virgo, în constelația Fecioara (lat. Virgo).
- Sistemul Căii Lactee aparține, împreună cu mai mult de 20 de alte sisteme stelare (între care nebuloasa Andromeda și ambii Nori ai lui Magellan), unui mic roi de galaxii, denumit *Grupa Locală*.

Superroiurile de galaxii

Aglomerări de roiuri de galaxii sub formă de lanțuri sau de discuri care ocupă mari spații goale. Partea observabilă a Cosmosului are astfel structura de tip țesut sau spumă, în care superroiurile se constituie în părți ale pereților, respectiv ale nucleelor.

Superroiurile sunt cele mai mari dintre structurile cunoscute ale Cosmosului.

Superroiuri	
Diametru	50 Mpc până la 100 Mpc
Masa	până la 10^{16} mase solare

Materia intergalactică

Materia aflată în spațiul dintre galaxiile unui roi de galaxii; probabil plasmă fierbinte (10^8 K), care este comprimată prin forțele gravitaționale. Praful intergalactic nu a putut fi până acum dovedit.

Apariția sistemelor stelare

Apariția sistemelor stelare este strâns legată de istoria Cosmosului. Cât timp Cosmosul nu a fost răcit prin expansiune sub 10^4 K, apariția sistemelor stelare nu a fost posibilă. Formarea unui sistem stelar a început probabil cu o neomogenitate într-un Univers omogen aflat în expansiune.

Protogalaxia	nori de hidrogen și heliu; temperatură presupusă: câteva mii K; densitate presupusă: în medie 10^{-21} g · cm ⁻³ .
--------------	---

Protogalaxia s-a contractat sub influența forței gravitaționale, apărând astfel primele stele (în roiuri globulare sau ca stele individuale). Contractia mai rapidă în domeniile centrale a condus la formarea nucleului. Influențele primite din partea protogalaxiilor vecine au dus la apariția rotației și a turbulențelor.

Apariția unui sistem spiral. Ca urmare a rotației, materia încă neaglomerată în stele s-a aplatizat, ajungându-se la formarea discului, căruia procesele ulterioare i-au dat structura actuală. În disc au apărut unde de densitate care au dus la formarea de sisteme spirale.

Apariția unui sistem eliptic. Formarea de stele într-un ritm rapid în condițiile unei rotații cu viteză redusă a avut drept consecință acumularea întregului material în stele. Totalitatea acestor stele s-au dispus în spațiu simetric, înainte ca aplatizarea să fi putut influența esențial sistemul.

Evoluții ulterioare ale sistemelor stelare

Procese fundamentale în timpul evoluției unui sistem stelar:

- formarea stelelor din materie interstelară;
- întoarcerea unei părți din materia stelară, în urma proceselor de fuziune nucleară, în spațiul interstelar;
- mișcarea stelelor în sistemul stelar.

Structura și evoluția Cosmosului**Cosmologia**

Știința Universului ca întreg, a structurii sale spațiale și a evoluției sale temporale. Observației astronomice îi este accesibilă doar o parte a Universului. De aceea este dificil să se tragă concluzii asupra spațiului și timpului în întregul Univers. Alături de observații, legile fizicii, în special fizica particulelor elementare, formează un important fundament științific pentru preceptele cosmologiei.

Principiul cosmologic

Toate modelele esențiale de reprezentare a structurii și evoluției Universului se bazează pe următoarele ipoteze de bază:

Universul este umplut uniform cu materie în toate direcțiile și în toate punctele.

- Nici un punct nu se deosebește față de alt punct (omogenitate).
 - Nici o direcție nu se deosebește de altă direcție (izotropie).
- În Univers nu există nici o poziție privilegiată și nici un punct central.

Principiul cosmologic implică și faptul că în întregul Univers există același tip de materie și de structuri materiale (inclusiv radiație) și acționează aceleași legi fizice.

Observațiile făcute asupra galaxiilor și a șirurilor de galaxii în domenii restrânse dovedesc că distribuția lor nu este omogenă. În general, totuși, se susține că în domeniul suficient de mari stăpânesc omogenitatea și izotropia. Există însă și teorii care postulează faptul că Universul nu este omogen, ci, mai degrabă, „bolovănos”.

↗ Ierarhia Cosmosului, p. 155.

STRUCTURA COSMOSULUI**Ierarhia Cosmosului**

Concepții asupra structurilor spațiale subordonate ale Cosmosului, în formă de galaxii, șiruri de galaxii, superroiuri și eventuale super-superroiuri, care se sprijină pe observații astronomice. În fiecare dintre structurile subordonate, densitatea materiei este mai mică. Astfel, spre exemplu, într-un superroi, densitatea este mai redusă decât într-un roi de galaxii. Superroiurile există în Univers sub formă de lanțuri sau au o formă aplatizată.

Acolo unde mai multe lanțuri se ciocnesc se află cel mai mare număr de roiuri de galaxii. Astfel, Universul observabil are o structură celulară sau asemănătoare spumei, în care superroiurile sunt țesutul, respectiv pereții. Distanța dintre superroiuri reprezintă diametrul celulei și, prin urmare, cea mai mare structură în ierarhia Cosmosului.

String-urile. Fire sau benzi de energie, presupus infinite, extraordinar de lungi, cu o masă extrem de mare și foarte subțiri, care par să fi determinat apariția și repartizarea în spațiu a galaxiilor.

- Galaxia noastră face parte dintr-un roi mai mic de galaxii, denumit Grupa Locală, căruiu îi aparțin circa 20 de galaxii. Acest roi de galaxii este parte componentă a unui superroi, al cărui centru se află în direcția roiului Virgo. Într-un volum sferic ($R = 40 \text{ Mpc}$) de circa 10^{25} ani lumină cubici sunt cuprinse 10^6 galaxii $\rightarrow$ o galaxie în $10^{19} (\text{a.l.})^3$.

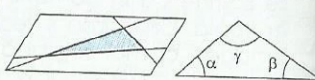
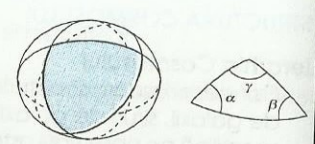
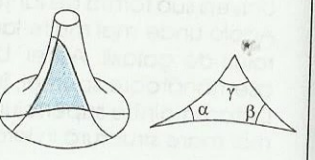
„**Marele Zid**”. Probabil aceasta este cea mai mare concentrație de materie cunoscută până acum în Univers. Într-un volum de $1,5 \times 10^{24} (\text{a.l.})^3$ sunt conținute $2 \dots 10^3$ galaxii $\rightarrow$ o galaxie în aproximativ $10^{21} (\text{a.l.})^3$.

Geometria spațiului cosmic

Teoria câmpului cuantic și teoria generală a relativității (TRG) constituie bazele reprezentării moderne ale spațiului. Conform TRG, geometria spațiului este determinată de gravitația masei conținute. Ca urmare a acțiunii gravitaționale a întregii materii cuprinse în Cosmos, Universul este puternic curbat. Întrucât Universul se află în expansiune, curbarea spațială se modifică odată cu trecerea timpului.

După modul de curbare, se face diferența între spații euclidiene și spații neeuclidiene.

Curburi posibile ale spațiului

Euclidiană	Curbură 0	Universul este un spațiu infinit și deschis.	
Sferică	Curbură pozitivă	Universul este un spațiu finit și închis. El are o masă și o rază finită.	
Hiperbolică	Curbură negativă	Universul este un spațiu infinit și deschis.	

Spațiile euclidiene corespund reprezentărilor de zi cu zi. Spațiile neeuclidiene se sustrag lumii reprezentărilor noastre. Aici sunt de ajutor reprezentări analogice.

- Analogul bidimensional al unui spațiu curbat sferic ar fi o suprafață sferică. Aceasta este „infinită”, adică fără limite, dar nu este infinit de mare. Ea are o suprafață finită. În deplasarea rectilinie pe o astfel de suprafață sferică, se ajunge întotdeauna în punctul de plecare. Dacă Universul ar avea geometria sus-amintită, privirea panoramică a unui observator nu ar fi astăzi posibilă, întrucât Universul se dilată mai încet decât poate să „călătorească” lumina.

Determinarea valorii curburii spațiului

Curbarea spațiului nu este direct observabilă. Pe baza principiului cosmologic, ea este determinată cu ajutorul densității medii a materiei și a constantei Hubble.

Raza de curbura sau raza Universului (R). Raza spațiului curbat tridimensional. Ca urmare a expansiunii, raza se modifică în timp (univers spațiu – timp).

Densitatea critică a materiei. Valoarea a densității materiei în Cosmos care determină direcția de expansiune.

După ideile actuale, valoarea densității critice a materiei este de circa $4,7 \cdot 10^{-30} \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$. Dacă valoarea densității reale a materiei este mai mică, Universul se dilată nelimitat. Dacă aceasta este mai mare, după un timp finit survine o contracție a Universului. Observațiile asupra materiei vizibile relevă faptul că densitatea masei este mai mică decât densitatea critică. Astronomii susțin totuși că Universul conține o mare masă de materie invizibilă, ceea ce este atestat și de măsurătorile făcute din sateliți. Această materie ar putea ridica densitatea materiei peste valoarea critică. În acest caz, atracția generală a maselor ar frâna expansiunea, ar provoca un moment de repaus, după care ar antrena contracția Universului.

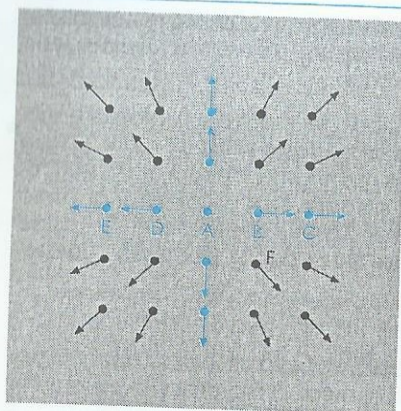
↗ Expansiunea Universului, p. 157, 180; ↗ Modele ale Universului, p. 159.

↗ Principiul cosmologic, p. 155; ↗ Constanta Hubble, p. 158.

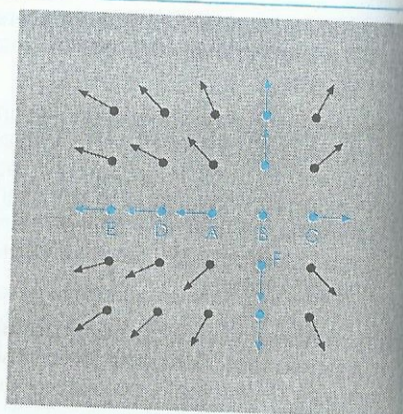
Expansiunea Universului

Deplasarea spre domeniul roșu al spectrului optic la galaxiile îndepărtate este desemnată, pe baza efectului Doppler, ca fuga galaxiilor. Acest fenomen nu are nimic de-a face cu o mișcare a galaxiilor, mărirea distanței la care se află galaxiile fiind produsă de expansiunea spațiului. Faptul că toate sistemele stelare se îndepărtează de noi nu înseamnă că galaxia noastră este centrul expansiunii. În orice alt sistem stelar, un observator ar surprinde același fenomen. Ideea conform căreia în Univers nu există nici un punct ieșit din comun prin anumite proprietăți, ceea ce înseamnă că nu există un observator ieșit din comun, poartă numele de *postulatul Universului*.

↗ Descoperirea expansiunii Universului, p. 181.

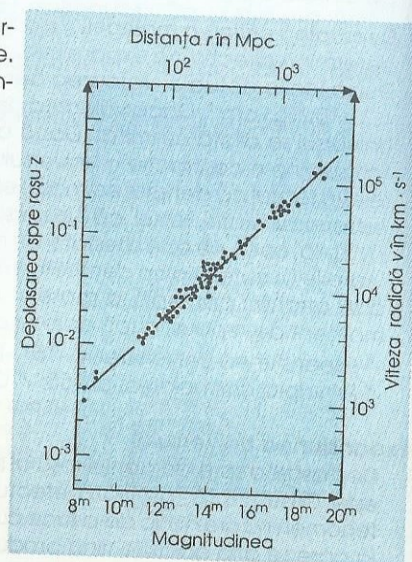


Observarea expansiunii din două galaxii diferite (în stânga observatorul A, în dreapta observatorul B)



Viteza de evadare (viteza radială)

Viteza cu care galaxiile se îndepărtează radial de sistemul Căii Lactee. Valoarea vitezei radiale este dependentă de depărtarea galaxiilor.



Relația dintre magnitudinea aparentă și deplasarea spre roșu, ca și dintre depărtarea și viteza radială pentru cele mai luminoase sisteme stelare ale unor galaxii

Constanta Hubble H_0

Raportul dintre viteza radială și distanța până la galaxii, descoperită de Hubble, este denumit constanta Hubble. Unitatea sa de măsură este kilometrul pe secundă pe megaparsec. Întrucât astronomii determină tot mai exact distanța până la galaxii, se modifică și valoarea constantei Hubble.

Anul	H_0 în $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$
1929	530
1950	180
1958	75
1975	60

Astăzi, valoarea sa este apreciată a fi între 40 și 100 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$. În calcule, de cele mai multe ori, se folosește valoarea $H_0 = 55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$.

Cu ajutorul constantei Hubble se calculează viteza radială după cum urmează:

$v = H_0 \cdot r$	v – viteza radială a sistemului stelar în $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$ H_0 – constanta Hubble în $\text{km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$ r – depărtarea sistemului în Mpc
-------------------	--

- Un sistem stelar, aflat la o distanță de 10 Mpc de sistemul Căii Lactee, are o viteză radială de 550 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$. La o distanță de 2 500 Mpc, viteza sa radială este de 138 000 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$. Cele mai mari viteze radiale calculate pentru obiectele cosmice sunt de circa 270 000 $\text{km} \cdot \text{s}^{-1}$.

Orizontul Universului

Limita Universului observabil în prezent. Ea se află la o distanță de 15...20 $\cdot 10^9$ a.l.. Întrucât lumina are o viteză finită, timpul său de evoluție este cu atât mai lung, cu cât galaxia se află mai departe de observatorul terestru. Noi primim informația despre obiectele aflate la o distanță de până la 15...20 $\cdot 10^9$ a.l. Procesele și zonele situate dincolo de orizontul Universului sunt, în mod fundamental, neobservabile de pe Pământ.

- Lumina galaxiei Andromeda ajunge la noi după circa două milioane de ani. Noi observăm obiectul în starea care îi era caracteristică cu circa 2 milioane de ani în urmă.

➤ Vârsta Universului, p. 160.

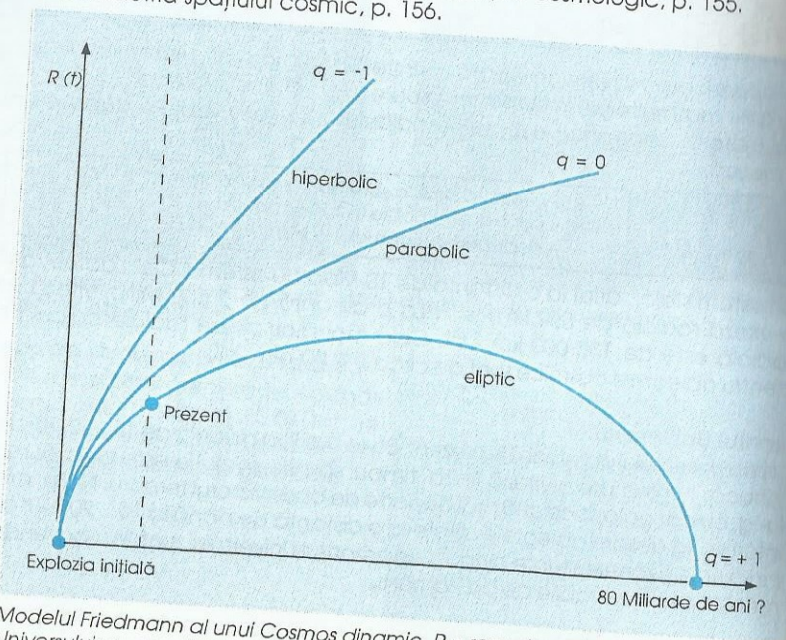
Modelele Universului

Reprezentări ideale care descriu Cosmosul în timp și spațiu. Dacă modelele Universului reflectă corect realitatea, pot decide doar observațiile. Cu siguranță, modelele universale elaborate nu se pot extinde asupra întregului Univers. Modelele moderne ale Universului se bazează pe principiul cosmologic al spațiilor curbate, care au o extindere finită sau infinită și care au un caracter dinamic.

Modelul Friedmann. Modelul matematic al unui Univers dinamic, elaborat de A. Friedmann. Reproducerea de la pagina 160 arată că Universul, în momentul începerii expansiunii, are o mică rază de curbura (R). Materia și radiația, ce se concentrează într-un mic volum, cu o mare densitate, cunosc o expansiune caracterizată printr-o mare viteză. Odată cu creșterea razei de curbura (R), ca urmare a atracțiilor reciproce dintre mase, viteza de

expansiune descrește. Această descreștere a vitezei se manifestă cel mai puțin în expansiunea modelelor cu spații hiperbolice, iar cel mai puternic în expansiunea modelelor cu spații eliptice.

- ↗ Expansiunea Universului, p. 157; ↗ Principiul cosmologic, p. 155.
- ↗ Geometria spațiului cosmic, p. 156.



Modelul Friedmann al unui Cosmos dinamic. R = raza de curbură; t = vârsta Universului; q = modificări în timp ale razei de curbură.

EVOLUȚIA UNIVERSULUI

Din determinarea vitezei de expansiune, a desfășurării expansiunii și cu ajutorul cunoștințelor de fizica particulelor elementare, se pot face speculații asupra evoluției stării actuale a Universului.

Vârsta Universului (t)

Vârsta presupusă a stării actuale a universului, estimată pe baza calculelor și a observațiilor, cu ajutorul constantei Hubble, a studiului atmosferelor stelare și a evoluției stelelor, ca și cu ajutorul cunoștințelor despre descompunerea radioactivă a elementelor grele. Valoarea oscilează între $10 \cdot 10^9$ și peste $20 \cdot 10^9$ ani.

- ↗ Constanta Hubble, p. 158; ↗ Compoziția chimică a stelelor, p. 123;
- ↗ Evoluția stelelor, p. 134, 179.

Determinarea vârstei proceselor cosmice

Metode care permit aruncarea unei priviri în spațiul temporal al proceselor cosmice.

Scări de timp	Metode de determinare a valorii
Vârsta expansiunii Universului	Determinarea cu ajutorul valorii constantei Hubble, la viteze de expansiune presupus constante ¹⁾ ($H_0 = 55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}$) $t = \frac{1}{H_0} = \frac{1}{55 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Mpc}^{-1}} = 18 \cdot 10^9 \text{ ani}$ (Timpul Hubble T_H)
Vârsta apariției elementelor grele (mai grele decât H, He)	Determinarea tipului de descompunere radioactivă la elementele grele; valoare: $7 \cdot 10^9$ ani
Vârsta stelelor	Determinarea din valorile cunoscute ale strălucirii și masei unei stele; Valoarea: $15 \cdot 10^9$ ani pentru cea mai veche stea

¹⁾ La o expansiune încetinită, vârsta Universului va fi mai mică, iar la o expansiune accelerată – mai mare.

- ↗ Expansiunea Universului, p. 157.
- ↗ Viteza de evadare, p. 158.
- ↗ Constanta Hubble, p. 158.

Explozia inițială

Reprezentare promovată de mulți oameni de știință a unui început exploziv al expansiunii, numit și „big bang”. În momentul exploziei și imediat după aceea, materia cosmică se afla sub condiții fizice extreme, ce nu au fost încă elucidate cu ajutorul legilor cunoscute ale naturii.

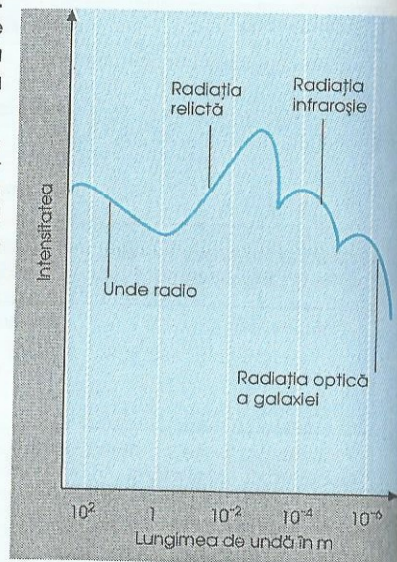
Se susține că explozia inițială a fost declanșată prin acțiunea comună a interacțiunilor electromagnetice, slabe sau puternice, prin includerea gravitației (teoria unificării GUT). Expansiunea Universului și radiația 3K sunt puternice argumente pentru teoria exploziei inițiale.

Faza fierbinte a Cosmosului. Perioadă de timp după explozia inițială, în care Universul se afla într-o fierbinte și densă stare inițială, în care domina o radiație electromagnetică intensivă și bogată în energie; materia era descompusă în componentele sale elementare, iar procesele fizice decurgeau extrem de încet.

- ↗ Expansiunea Universului, p. 157;
- ↗ Radiația 3K, p. 162;
- ↗ Evoluția Universului, p. 162;
- ↗ Teoria Steady - State, p. 163;
- ↗ Teoria Big Bounce, p. 164;
- ↗ Teoria exploziei inițiale, p. 181.

Radiația 3K

Radiație cosmică intensivă în domeniul frecvențelor radio, a cărei temperaturi corespunde cu cea a unui corp negru de 2,7K. Densitatea sa este de 10^3 protoni pe centimetrul cub. Această radiație ne parvine din toate direcțiile Universului (izotrop), cu aceeași intensitate. Ea nu este legată de nici un corp cosmic. După teoriile actuale, radiația 3K, denumită și *radiație relictă* sau *de fundal*, este un rest din timpurile de acum 10^5 ani după explozia inițială, când materia cosmică se afla într-o stare extrem de fierbinte. Prin expansiunea Universului, radiația s-a răcit până la valoarea actuală de 2,7 K.



Spectrul radiației electromagnetice în Univers, inclusiv radiația 3K

6

Evoluția Universului

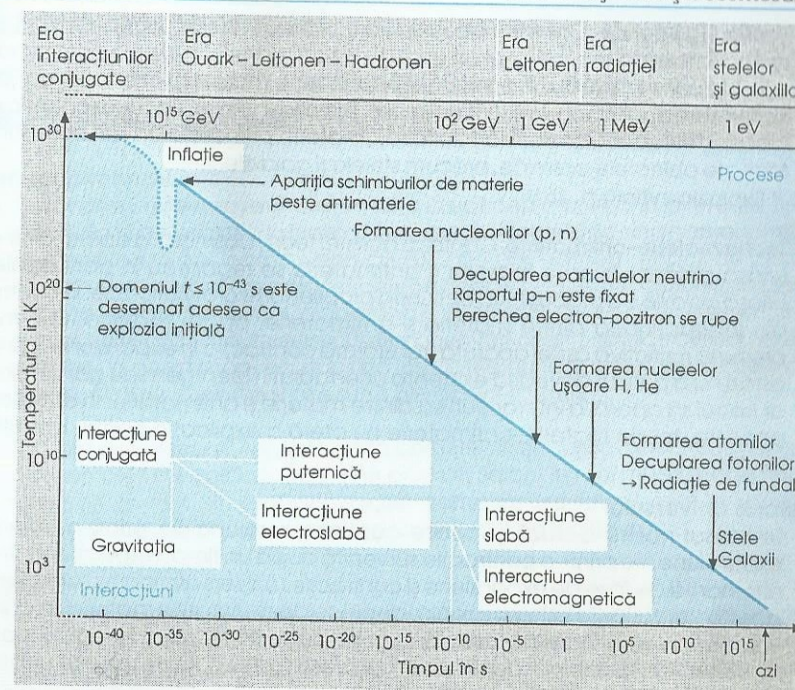
Procese evolutive ce se desfășoară în Univers de la începutul expansiunii. În primele secunde și minute de după începutul expansiunii, aceste procese au decurs extrem de repede. Universul s-a dezvoltat dintr-o plasmă primordială fierbinte, ajungând, în condițiile unei expansiuni continue, ale unei răcirii asociate, ca și, ca urmare a diminuării densității, în starea sa actuală.

Pe baza datelor observate și a teoriei exploziei inițiale, se deosebesc diferite faze de evoluție.

Universul inflaționar. Teorii conform cărora evoluția Universului ar fi o succesiune de faze „liniștite” și „furtunoase” (inflaționare). În fazele inflaționare, domeniile limitate ale Universului cu un conținut foarte mare de radiație, se extind extrem de repede prin răcire.

- Pentru o astfel de fază inflaționară, s-a stabilit pentru Universul vizibil perioada de timp cuprinsă între 10^{-40} ... 10^{-35} s după explozia inițială. În această fază, Universul nostru exista sub forma unui foarte fierbinte „balon” de materie, a cărui temperatură ajungea la circa 10^{27} K. Prin răcirea „balonului” și trecerea spre o fază „liniștită”, expansiunea a fost, în mod esențial, accelerată („inflație”).

➤ Evoluția Universului, p. 162.



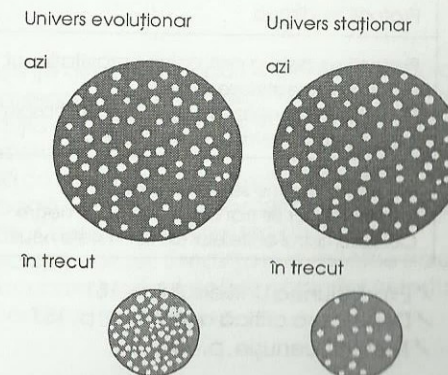
Era interacțiunilor conjugate

Alte modele cosmologice (selecție)

Alături de modelul exploziei inițiale, există și alte modele ale evoluției Universului, care nu se bazează pe o explozie inițială.

Teoria Steady-State. Teorie cosmologică aflată în contradicție cu teoria exploziei inițiale, conform căreia Universul, aflat într-o nelimitată expansiune, are în permanență aceeași densitate a materiei. Această teorie presupune o continuă creare de materie. Întrucât rata de formare este neverosimil de mică, particulele materiale nou formate nu au reușit să fie puse în evidență experimental. Cel mai important contraargument pentru un Univers Steady-State este radiația de 3K.

Densitatea materiei în Univers aflat în expansiune, după teoria exploziei inițiale și după teoria Steady-State



Teoria Big Bounce. Conform acestei teorii, Universul nu are început în timp și spațiu. Întotdeauna a existat un spațiu lipsit de materie, care s-a contractat până la un volum redus și, printr-o „big bounce” („mare explozie”), și-a corijat deformarea, iar apoi s-a extins nelimitat. Din așa-numitul vacuum cuantic a luat naștere, prin transformări de fază, „materia primordială”, din care sunt formate obiectele cosmice, precum stelele și galaxiile.

↗ Explozia inițială p. 161

Teoria materie-antimaterie. Conform acestei teorii, Cosmosul a apărut dintr-o uriașă galaxie, în care materia și antimateria se regăseau în părți egale. Uriașa galaxie s-a prăbușit sub acțiunea propriei forțe gravitaționale. În centru, din interacțiunea dintre materie și antimaterie, apare radiația. Enorma presiune radiativă astfel apărută transformă contracția în expansiune. Până astăzi nu a putut fi dovedită existența unei radiații Roentgen sau gamma ce ar trebui să apară la interacțiunea dintre materie și antimaterie. În afară de aceasta, teoria materie-antimaterie nu oferă o explicație pentru radiația de 3 K.

Viitorul Universului

Universul nostru actual își poate continua evoluția fie printr-o infinită expansiune, fie printr-o contracție survenită după un timp, respectiv printr-o alternanță de faze de expansiune și contracție (univers oscilant). Care dintre aceste trei variante este cea reală, depinde de densitatea materiei, a cărei valoare nu este încă cunoscută astronomilor. Dacă se ia în calcul doar materia vizibilă, atunci densitatea de masă justifică ipoteza unui univers într-o perpetuă expansiune.

Repere de timp într-un univers în perpetuă expansiune	
Vârsta actuală a Universului	18×10^9 ani
Stelele se sting	10^{14} ani
Stelele își pierd planetele	10^{15} ani
Galaxiile își pierd stelele	10^{19} ani
Planetele se prăbușesc în stelele-mamă	10^{20} ani
Protonii se distrug	10^{33} ani (?)
Protonii se distrug prin colaps gravitațional	10^{45} ani
Găurile negre stelară radiază	10^{64} ani
Materia se lichefiază la punctul zero absolut	10^{65} ani
Stele negre supermasive strălucesc	10^{100} ani
Întreaga materie se transformă în fier	10^{1500} ani
Stelele de fier se transformă în găuri negre	$10^{10^{26}}$ ani (?)
Colapsul astral al stelelor de fier în stele neutronice	$10^{10^{76}}$ ani

↗ Expansiunea Universului, p. 157.

↗ Densitatea critică a materiei, p. 157.

↗ Materia cenușie, p. 157.

Istoria astronomiei

ÎNCEPUTURILE ASTRONOMIEI

Arheoastronomia

Astronomia este frecvent desemnată drept cea mai veche dintre științele naturii. Ea își are originea în preistoria umanității. Cercetările arheoastronomice demonstrează că, încă în urmă cu 7000 de ani, oamenii epocii de piatră observau pe bolta cerească fenomene neobișnuite. Arheoastronomia este o știință interdisciplinară. Colaborând în special cu arheologia și cu științele religiei, ea se află în căutarea mărturiilor observațiilor astronomice ale oamenilor primitivi. În acest scop, ea studiază inscripțiile cuneiforme, calendarele de piatră, picturile rupestre și alte surse ale acelor timpuri.

- La nord de Salisbury (Anglia) se află complexul megalitic de la Stonehenge, un complex megalitic foarte bine păstrat, ridicat în mai multe etape, între anii 3100 și 11 î. Hr. Probabil, acest complex era folosit atât în scopuri astronomice, ca observator solar și lunar, cât și ca loc de cult.

Astronomia

Legătura cu natura și dependența față de aceasta l-au îndemnat pe om încă de timpuriu să observe corpurile cerești. Motivele religioase, ca și cele practice, precum o mai exactă împărțire a timpului, succesiunea activităților agricole, întocmirea unui calendar utilizabil, orientarea pe mare sau în deșert, au fost cele mai importante motive pentru însușirea cunoștințelor astronomice.

- Existența cunoștințelor despre corpurile cerești poate fi dovedită și de practicarea de către oamenii primitivi a cultului morților. Frapant de des, mormintele lor sunt orientate în direcția punctelor cardinale. Așadar, pe atunci oamenii erau în stare ca, pe baza observațiilor astronomice, să stabilească punctele cardinale.

Astrolatria

Ca urmare a nivelului de cunoștințe din acele timpuri, stelele erau adorate de către oameni ca zei sau ca mesageri ai dorinței zeilor. Adorația religioasă a corpurilor cerești a dus la apariția astrolatriei. Stelelor le erau atribuite forțe cu care acționau asupra Pământului. Planeta Marte a fost identificată cu zeul războiului, Nergal, a cărui apariție a fost legată de izbucnirea de războaie și provocarea de mari distrugerii. Planetei Venus i-a fost asociată zeița Ishtar, zeiță a fertilității și regină a cerului. Astrolatria a stimulat dezvoltarea astronomiei. Credința în divinitatea stelelor a condus la o tot mai mare preocupare pentru mișcările corpurilor cerești și a contribuit în mod esențial la apariția astrologiei.

↗ Astrologia, p. 166

ASTRONOMIA LA ÎNCEPUTUL ANTICHITĂȚII

La popoarele cultivate ale Antichității timpurii, în Babilon, Egipt, India, China și America Centrală, astronomia a cunoscut o mare înflorire.

Astronomia în Babilon

Importante informații despre astronomia babiloniană ne parvin cu precădere din anii 600 î. Hr.. Babilonienii observau, printre altele, mișcarea Lunii și a Soarelui, fazele Lunii, eclipsele, mișcarea planetelor și rotirea diurnă a bolții cerești.

Datele despre stelele observate erau adunate într-un compendiu care îngloba, de asemenea, informații despre poziția reciprocă a corpurilor cerești, răsăritul și apusul lor, ca și despre culminația acestora.

În cataloage apar și date despre lungimea umbrei Soarelui, despre mișcarea Lunii sau a planetelor pe bolta cerească. Aceste cunoștințe le permiteau babilonienilor să stabilească perioada de revoluție a planetelor, ceea ce le îngăduia antecalcularea poziției lor.

De asemenea, ei cunoșteau regulile prognozei pe termen lung a eclipselor.

Importante constelații, cum ar fi Orion, Ursa Mare, și-au primit numele în acele vremuri și în acel spațiu cultural. Împărțirea timpului s-a făcut în funcție de mișcarea Lunii. Babilonienii au creat un fundament empiric pentru o astronomie științifică.

Imaginea mitologică a universului la babilonieni. Lumea de deasupra plutește sub forma unui ziggurat pe oceanul terestru. Deasupra se întind primul, al doilea și al treilea cer. Sub ocean se află lumea de jos, cu palatul regatului morților, înconjurat de șapte ziduri. Oceanul terestru este mărginit de zăgazurile cerului, pe care se înalță munții răsăritului și apusului de Soare (reconstituire după diferite surse).



Apariția astrologiei

Babilonienii erau în căutarea unor legături dintre om, Pământ și Cosmos. Astrolatria a dus la acceptarea existenței unei influențe hotărâtoare a stelelor asupra vieții pământene, ceea ce a avut drept consecință apariția astrologiei. Istoric, astrologia a cunoscut trei etape de evoluție:

– *astrologia predicțiilor* (aproximativ 1400–600 î. Hr.). Se ocupa cu evenimente de interes general, precum bolile, foametea, războaiele, pacea etc. și nu folosea nici semnele zodiacale, nici horoscopul.

– *astrologia zodiacală primitivă* (aproximativ 600 – 500 î. Hr.). Prin folosirea semnelor zodiacale, se făceau prognoze asupra evoluției de-a lungul unui an a vremii și a vegetației.

– *astrologia horoscopică* (din 500 î. Hr. până astăzi). Aceasta prezice soarta fiecărui individ, cu ajutorul horoscopului, ținând seama de poziția planetelor în momentul nașterii. Mai târziu, astrologia s-a răspândit din Babilon în întreaga lume antică. Nu exista o demarcație clară între observațiile și prognozele astronomice, pe de o parte, și tălmăcirile și profețiile astrologice, pe de altă parte. Observațiile astronomice precise ale bolții cerești erau cerute de astrologie, iar aceasta a stimulat, la rândul ei, acumularea de cunoștințe astronomice. Importanții învățați ai vremii s-au ocupat atât cu astronomia, cât și cu astrologia. Claudius Ptolemeu (aproximativ 100–170 d. Hr.) a creat cea mai importantă operă de astronomie a antichității – „Almagest”, și a fost totodată autorul principalei opere a astrologiei antice, „Tetrabiblos”. Învățații bizantini au introdus bagajul de idei al astrologiei în Europa, unde astrologia a cunoscut o mare înflorire în secolele al XV-lea și al XVI-lea. Mai târziu, după cristalizarea sistemului heliocentric al lui Copernic, astrologia și-a pierdut justificarea științifică. Astăzi, ea este mai mult o ramură de activitate care se folosește de nesiguranța timpurilor și de credulitatea oamenilor.

Într-o anumită epocă, astrologia și-a adus o importantă contribuție la devenirea spirituală a omenirii. Cercetarea sistematic-construcțivă a lumii, întreprinsă de astrologie, a fost o grandioasă încercare de a privi lumea ca un întreg, o lume în care și omul este integrat.

Astronomia în Egipt

Printre cele mai importante îndatoriri ale preoților egipteni se număra măsurarea exactă a timpului. Aceasta era necesară atât derulării corecte a sărbătorilor religioase, cât și a semănatului și recoltatului. Ca urmare, adorarea Soarelui și a altor corpuri cerești ocupa un loc privilegiat în viața religioasă egipteană; încă de timpuriu exista un calendar bazat pe anul solar.

Întrucât, pe la 4000 î. Hr., începutul revărsării Nilului – un eveniment de o extraordinară importanță pentru agricultură – coincidea cu răsăritul heliactic al stelei Sirius în prima sa dimineață de apariție pe bolta cerească, aceasta se bucura de o deosebită prețuire. De aceea, anul începea în Egipt cu ziua în care, în zori, steaua Sirius strălucea din nou pe cer. Anul egiptean era împărțit în 12 luni a câte 30 de zile, la care se adăugau alte cinci zile. Observațiile pe lungi perioade de timp au demonstrat faptul că răsăritul stelei Sirius întârzie la fiecare patru ani cu câte o zi, anul bazat pe mișcarea aparentă a lui Sirius având în realitate $365 \frac{1}{4}$ zile și nu 365. Tălmăcirii astrologice în legătură cu Sirius au apărut abia în epoca târzie a Egiptului, sub influență babiloniană.

↗ Calendarul, p.39.

Astronomia în China

În jurul anului 3000 î.Hr., chinezii se laudau deja cu observații ale unor fenomene surprinzătoare care au avut loc pe bolta cerească, cum ar fi eclipse, comete și meteori luminoși. În anul 1054 d.Hr., chinezii observaseră deja o supernovă în constelația Taurului. Cu observarea bolții cerești erau însărcinați funcționarii, a căror principală sarcină era întocmirea calendarului și tălmăcirea politică a evenimentelor deosebite ce aveau loc pe bolta cerească. Chinezii, erau convinși de existența unei strânse legături între fenomenele observate pe cer și evenimentele de pe Pământ. ↗ Calendarul, p.39.

Astronomia în America Centrală

Printre primele popoare din acest spațiu geografic care au întreprins observații astronomice au fost maiasii. Se știe astfel despre observarea unei eclipse totale de lună, în anul 3379 î.Hr. Fenomenele astronomice erau probabil în strânsă legătură cu esența calendarului maiasilor.

ASTRONOMIA ÎN ANTICHITATE

Astronomia în Grecia

În timp ce popoarele antichității timpurii se îndeletniceau cu observarea corpurilor cerești, gânditorii greci erau preocupați, în primul rând, de cauzele fenomenelor observate. Ei aveau convingerea că lumea stelelor era supusă unei ordini stabilite de zei, ale cărei principii trebuie să fie descoperite și care pot fi descrise prin legi matematice. Grecii s-au concentrat, printre altele, asupra rezolvării următoarelor probleme:

- alcătuirea Cosmosului și poziția Pământului în Cosmos;
- explicarea mișcării corpurilor cerești;
- raporturi de mărime și distanțe existente în Univers.

Observații și măsurători

Constelațiile. Acestea sunt cele mai importante ajutoare pentru orientarea pe bolta cerească. Constelațiile stabilite de babilonieni, printre altele și semnele zodiacale, au fost preluate de greci și îmbogățite cu noi configurații. Din cele 88 de constelații stabilite astăzi prin acorduri internaționale, 44 erau deja cunoscute încă din antichitate. Numele lor provin din lumea reprezentărilor acelor vremuri de demult. Douăsprezece dintre ele au, spre exemplu, nume umane, iar 23 au fost denumite după animale sau ființe fantastice.

Fundamentarea ideii formei sferice a Pământului. Încă de timpuriu, Soarele, Luna și stelele erau considerate de către greci a avea forme sferice. Forma sferică a Pământului a fost dedusă din observarea navelor ce se apropie de țărm și din înălțimea diferită a stelelor pe bolta cerească, la observarea din puncte diferite. Aristotel a demonstrat forma sferică a Pământului în jurul anului 350 î.Hr. prin observarea formei circulare a umbrei proiectate de Pământ în timpul eclipsei de Lună.

Calcularea circumferinței Pământului. În jurul anului 220 î.Hr., Eratostene a stabilit, cu ajutorul înălțimii Soarelui la amiază că distanța unghiulară dintre cetățile egiptene Alexandria și Syene (astăzi Assuan) este de $7,5^\circ$. După măsurătorile sale, distanța dintre cele două puncte era de 5 000 de stadli. De aici, el a calculat circumferința Pământului, pe care a găsit-o ca fiind de 252 000 stadli, adică de 36 690 km, ceea ce este foarte aproape de valoarea reală.

Determinarea depărtării și a dimensiunilor Soarelui și Lunii. În jurul anului 265 î.Hr., Aristarh din Samos a încercat, prin calcularea proporțiilor la semilună, într-un triunghi dreptunghic Pământ - Soare - Lună, să determine atât distanța față de Pământ a Soarelui și a Lunii, cât și razele acestora. El a obținut un raport de 1 : 19 între distanța până la Soare și cea până la Lună.

Deși măsurătorile de astăzi dau alte valori decât cele găsite de Aristarh, învățatul grec a rezolvat în principiu problema determinării distanței dintre Pământ și aceste corpuri cerești. Mai departe, el a determinat raportul dintre raza Lunii și cea a Pământului ca fiind de 0,36, iar raza solară ca având 6,75 raze terestre.

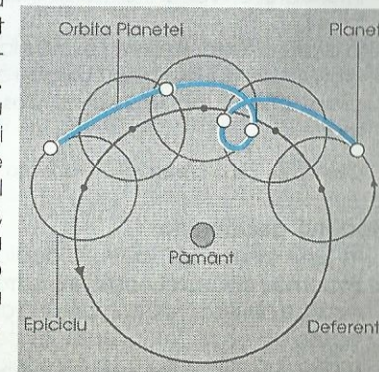
Studiul mișcărilor planetelor

Înainte de toate, grecii au încercat să explice mișcarea planetelor prin teoria conform căreia corpurile cerești, fiind creații divine, nu puteau descrie decât traiectoria desăvârșită.

Dogma platoniciană a orbitei circulare. În jurul anului 400 î.Hr., Platon a pus la punct un sistem matematic în care corpurile cerești de formă sferică, obiecte animate de zei, se mișcau în jurul Pământului pe orbite circulare și cu o viteză constantă; mișcarea lor se considera a fi fără început și fără sfârșit. Pentru Platon, anomalii observate în mișcarea planetelor sunt doar aparente, în spatele lor desfășurându-se mișcarea circulară uniformă reală a corpurilor cerești. Ideile lui Platon despre traiectoria circulară a planetelor s-au transformat în timp, pe largul drum al cunoașterii astronomice, într-o dogmă ce avea să fie respinsă cu argumente solide abia după ce Kepler avea să formuleze legile planetelor.

Teoria epiciclului a lui Hiparh. Hiparh, care pe la 150 î.Hr. a descoperit precesia Pământului și care a întocmit pentru prima dată un registru astral, a încercat să explice mișcarea neregulată observată la planete cu ajutorul epiciclului. Conform teoriei lui Hiparh, planetele nu s-ar mișca direct în jurul Pământului, ci ar descrie mici cercuri (epicicli) ale căror centre s-ar deplasa în jurul Pământului, descriind un cerc mai mare, denumit deferent. Prin aceasta se putea în primul rând explica mișcarea sub formă de buclă ce caracterizează evoluția planetelor pe bolta cerească.

Teoria epiciclului a lui Hiparh



REPREZENTĂRI ALE UNIVERSULUI ÎN ANTICHITATE

Imaginea Universului în Grecia timpurie

Grecii, ca și celelalte popoare ale antichității timpurii, erau credincioși reprezentărilor mitice conform cărora Pământul ar fi fost un disc înconjurat de o mare inaccesibilă, din care stelele se ridică seară de seară și în care se scufundă în fiecare dimineață. Din aceeași mare, în fiecare dimineață, se înalța carul de aur al zeului Soarelui, Helios (mai târziu Apollo) spre a-și parcurge drumul de fiecare zi pe cer.

Geometria cerească a lui Eudoxos

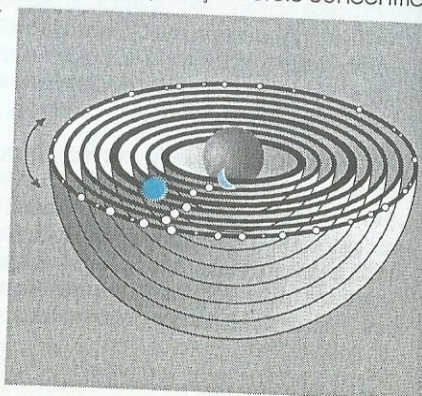
În jurul anului 380 î.Hr., Eudoxos, în teoria sa a sferelor concentrice, încerca să realizeze o descriere matematică a mișcărilor aparente ale planetelor. Astfel, mișcarea neregulată a planetelor era transpusă în mișcarea uniformă a sferelor cerești. Presupusele sfere i-au folosit lui Eudoxos doar ca instrument matematic.

Modelul cosmic al lui Aristotel

Aristotel năzuia, în jurul anului 350 î.Hr., către un sistem cosmic a cărui structură să nu se sprijine doar pe relații matematice, ci și pe principii fizice. Pentru el, corpurile cerești de formă sferică ce se deplasau pe orbite erau compuse din eter, o materie ce nu era supusă nici unui fel de schimbări. Pământul, cel mai greu dintre cele patru elemente grele care erau supuse transformărilor, se afla în centrul universului. Aristotel făcea deosebire între o lume cerească și una pământească. Spre deosebire de Eudoxos, el privește sferele concentrice nu ca pe puncte de masă matematică, ci ca pe corpuri fizice. Sistemul de sfere se află într-o continuă mișcare, imprimată de un impuls divin asupra sferei exterioare. Mișcarea se transmitea apoi sferelor interioare. Universul era mărginit de stele fixe.

În afara acestor sfere, nu există nici loc, nici spațiu, nici timp. Aristotel a creat primul model real al Cosmosului.

Cosmosul, ca o construcție ordonată

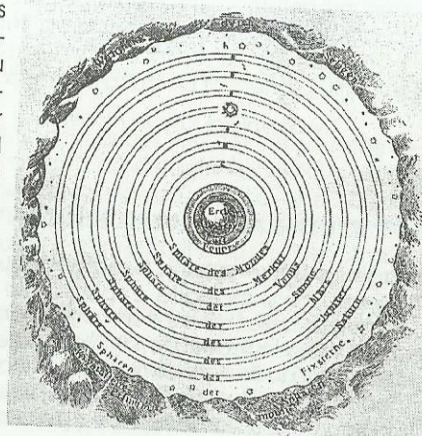


Modelul geocentric

În jurul anului 150 d.Hr., Claudius Ptolemeu aduna cunoștințele astronomice ale Antichității, împreună cu observațiile sale, într-o teorie, matematic fundamentală, a mișcărilor corpurilor cerești și un model al structurii universului, ambele aflate într-un deplin acord cu observațiile de până atunci.

În sistemul geocentric, Pământul, fix și de formă sferică, se află în centrul Universului. În jurul său se mișcă, pe orbite, corpurile cerești. Universul este mărginit de sfera stelelor fixe.

Modelul geocentric al lui Ptolemeu



Reprezentările ptolemeice se bazau pe rotirea zilnică a cerului, ce fusese observată încă din cele mai vechi timpuri, pe teoria orbitelor circulare a lui Platon, pe modelul cosmic al lui Aristotel, ca și pe teoria epiciclului a lui Hiparh. Deși sistemul ptolemeic se sprijină doar pe percepții senzoriale nemijlocite, el a permis, condiționat de nivelul de dezvoltare a tehnicilor de măsurare, anticipări aproximativ corecte ale mișcărilor și pozițiilor planetelor. Sistemul geocentric a constituit un sprijin pentru concepția filosofică a lui Aristotel, dominantă până în Evul Mediu, și s-a găsit în concordanță cu sistemul cosmologic biblic al acelor timpuri. Din aceste motive, el a constituit pentru mai mult de 1400 de ani baza primordială pentru cunoașterea astronomică.

Almagest. Ptolemeu a adunat întreaga știință astronomică a timpului său în opera în treisprezece volume „Mathematicæ syntaxis” (sau „Megale syntaxis”), ajunsă în Europa Evului Mediu timpuriu sub numele arab de „Almagest”.

✓ Mișcarea geocentrică a planetelor, p. 53.

Teorii heliocentrice speculative

Alături de teoriile geocentrice, în Antichitate au existat și idei heliocentrice speculative. În jurul anului 420 î.Hr., Philolaos din Croton considera că toate stelele, chiar și Pământul privit ca planetă, s-ar învârti în jurul unui foc central, aflat în mijlocul Universului. În jurul anului 350 î.Hr., Heraclit (Heraclides Ponticos) a contrazis ideea focului central, susținând că planetele și Soarele s-ar învârti în jurul unui centru comun.

În jurul anului 270 î.Hr., Aristarh din Samos trăgea concluzia, după determinarea mărimei Soarelui, că acesta se află în centrul Universului și că este înconjurat de planete, inclusiv Pământul.

Obiecții reale și prejudecăți filosofice au limitat pe atunci răspândirea concepției heliocentrice.

ASTRONOMIA MODERNĂ

Astronomia în Evul Mediu timpuriu

Din secolul al VIII-lea până în secolul al XIV-lea, arabii au păstrat și dezvoltat moștenirea astronomică a antichității. Ei au tradus opera lui Ptolemeu în arabă. Sub titlul „Almagest”, ea a ajuns în Europa Centrală. Modelul cosmologic al Occidentului creștin medieval se baza în primul rând pe Vechiul Testament și pe reprezentările astronomice babiloniene. Principalele preocupări ale astronomiei acelor timpuri au fost urmărirea calendarului și stabilirea datelor sărbătorilor religioase. În afara de acestea, comerțul și transporturile, în plină dezvoltare, aveau nevoie de o mai exactă orientare pe bolta cerească. Tehnici de măsurare mai bune și o mai mare exactitate a observațiilor astronomice au condus la diferențe între o presupusă poziție a planetelor, datorată teoriei ptolemeice, și poziția reală. Încercările lui G. Purbach și J. Müller (Regiomontanus), la sfârșitul secolului al XV-lea, de a îmbunătăți modelul geocentric prin observații sistematice asupra planetelor, au fost sortite eșecului.

Modelul heliocentric

În prima jumătate a secolului al XVI-lea, meditănd asupra bazelor teoriei geocentrice, Nicolaus Copernic reușește elaborarea unui nou model de sistem planetar. Considerațiile sale, ce se regăsesc pe scurt în „Commentariolus” (1510), și apoi detaliat în opera sa de bază „De revolutionibus orbium coelestium” (1543), conțin următoarele idei esențiale:

Reprezentarea heliocentrică a Universului

- Universul și Pământul sunt sfere.
- Centrul Pământului nu este centrul Universului, ci numai centrul orbitei Lunii.
- Toate planetele, inclusiv Pământul, se rotesc în jurul Soarelui.
- Centrul sferei fixe este Soarele.
- Cerul stelelor fixe este atât de îndepărtat, încât dimensiunile sistemului planetar sunt infim de mici.
- Pământul descrie o mișcare triplă.
 - a) Rotația zilnică în jurul propriei axe, care se regăsește în mișcarea zilnică a cerului stelelor fixe, de la est la vest.
 - b) Mișcarea anuală a Pământului și a Lunii în jurul Soarelui. Mișcarea aparentă a Soarelui este o reflectare a mișcării Pământului.
 - c) rotația axei terestre pe suprafața unui con în 26 000 ani (precesie).
- Orbitele sub formă de bucle, descrise de planete pe bolta cerească, apar ca urmare a mișcării lor reale și datorită mișcării Pământului în jurul Soarelui. Prin elaborarea sistemului heliocentric, Copernic a determinat trecerea de la astronomia antică la cea modernă.
- ↗ Mișcarea heliocentrică a planetelor, p. 50.

Limitele reprezentărilor lui Copernic

- cantonarea în concepția antică a mișcării circulare a corpurilor cerești;
- lipsa posibilității de confirmare a paralaxelor stelelor fixe.

Rezonanța modelului heliocentric

Argumentele teologice și profesionale se ridicau împotriva sistemului lui Copernic. Suprimarea diferențelor dintre lumea pământească și cea cerească în modelul heliocentric contrazicea cuvântul Bibliei, ceea ce a condus la un conflict cu Biserica. Inchiziția catolică a pus la index opera lui Copernic din 1614 până în 1825.

Chiar astronomi renumiți au privit noul model cu precauție sau l-au respins din cauza faptului că modelul lui Copernic, nu descria mai exact decât modelul geocentric mișcarea planetelor, iar o dovadă pentru mișcarea de rotație a Pământului lipsea.

Modelul lui Tycho Brahe. Tycho Brahe trece drept cel mai mare observator al perioadei pretelescopice. El a respins modelul heliocentric din cauza faptului că nu a putut dovedi cu instrumentele epocii sale deplasarea paralactică a stelelor fixe, datorată rotației Pământului. Brahe a conceput un model propriu (1588), în care Soarele și Luna se învârt în jurul Pământului, iar planetele în jurul Soarelui. Această reprezentare nu a dobândit totuși o importanță esențială.

Formularea legilor planetelor

Vechea teorie a lui Copernic conform căreia planetele evoluează cu o viteză uniformă pe o orbită circulară în jurul Soarelui a fost contrazisă la începutul secolului al XVI-lea de către Johannes Kepler, prin formularea legilor planetelor. Studiind bogatul material obținut prin observațiile lui Tycho Brahe, Kepler descoperă o serie de legi ale mișcării planetelor, legi cunoscute drept cele trei legi ale lui Kepler (1609, 1619). Conform acestora, planetele se mișcă pe orbite eliptice inegale în jurul Soarelui, cu Soarele într-unul din focarele elipsei, existând o corespondență între distanța planetei față de Soare și viteza sa pe orbită. Deși Kepler încă nu descoperise cauzele mișcării planetelor, era deja foarte aproape de explicația fizică a fenomenului. Pentru el, planetele nu erau fixate pe sfere cerești, ci erau corpuri ce evoluau liber în spațiu.

Prima observație astronomică efectuată cu ajutorul unei lunete

La începutul secolului al XVII-lea, nou descoperita lunetă s-a adăugat arsenalului folosit pentru observațiile astronomice. Cu ajutorul său a devenit posibil, printre altele, să se deosebească structuri pe corpurile cerești apropiate și să se observe obiecte cosmice, invizibile cu ochiul liber.

Gallileo Galilei (1609) a descoperit cu luneta sa, printre altele, petele solare, munții de pe Lună, cei patru mari sateliți ai lui Jupiter, fazele lui Venus și stelele Căii Lactee.

Galilei s-a pronunțat, prin cuvânt și prin scris, pentru sistemul lui Copernic, ceea ce l-a adus în 1633 condamnarea din partea Inchiziției. Condamnarea a fost suspendată abia în anul 1992! ↗ Refractor, p. 13.

EVOLUȚIA ASTRONOMIEI CLASICE

Din secolul al XVII-lea până în secolul al XIX-lea, astronomia s-a ocupat, în principal, cu mișcarea corpurilor cerești și cu formularea legilor aflate în legătură cu acest fenomen (mecanica cerească). Mai departe, astronomii au năzuit spre o măsurare cât mai precisă posibil a Universului (astrometrie), și au început cercetarea compoziției sistemului nostru stelar (statistică stelară). Aceste preocupări au adus cunoștințe noi, esențiale, despre Univers.

Mecanica cerească

În opera sa „Philosophiae naturalis principia mathematica” (1687), prin folosirea unor termeni precum forță, masă ș.a., Isaac Newton a pus bazele mecanicii cerești ca știință a mișcării corpurilor cerești.

Descoperirea gravitației

Newton a răspuns la întrebarea de ce se mișcă planetele în jurul Soarelui. El a descoperit că forța de atracție reciprocă dintre corpurile cerești, care este dependentă de masele respectivelor corpuri și de distanța dintre acestea, este cauza mișcării pe orbită a planetelor. Legea gravitației, formulată de Newton, are o importanță fundamentală, întrucât datorită acesteia, pot fi explicate mișcările corpurilor în spațiul cosmic. El a adus totodată dovada

că nu există o fizică pământeană și una cerească, ci numai o fizică universală.
 ↗ Legea gravitației, p. 49.

Prima calculare a orbitei unei comete

Cu legea gravitației, astronomii aveau la îndemână o metodă pentru calcularea orbitei parabolice descrise de o cometă în jurul Soarelui. Edwin Halley (1706) a folosit această metodă pentru 24 de comete. El a descoperit că anumite orbite ale cometelor sunt aproape identice, fapt care l-a condus la concluzia că are de-a face cu unul și același obiect care se deplasează pe o elipsă quasiparabolică, având o perioadă de rotație în jurul Soarelui de 75 de ani. Astfel a fost prevăzută reîntoarcerea acestei comete, care a primit numele Halley.

↗ Orbitele cometelor, p. 48.

Descoperirea planetoizilor

La începutul secolului al XIX-lea (1801), Piazzi a descoperit primul planetoid, Ceres, care se mișcă în jurul Soarelui, pe o orbită situată între Marte și Jupiter. În același timp, au apărut studii teoretice care au dus la dezvoltarea mecanicii cerești. Carl Friedrich Gauss a publicat un studiu (1809) despre determinarea orbitelor planetoizilor pe baza a trei observații ale poziției lor. Elipsa și efemeridele lui Ceres au putut fi determinate cu ajutorul metodei lui Gauss. Astăzi sunt calculate orbitele a aproximativ 3000 de planetoizi.

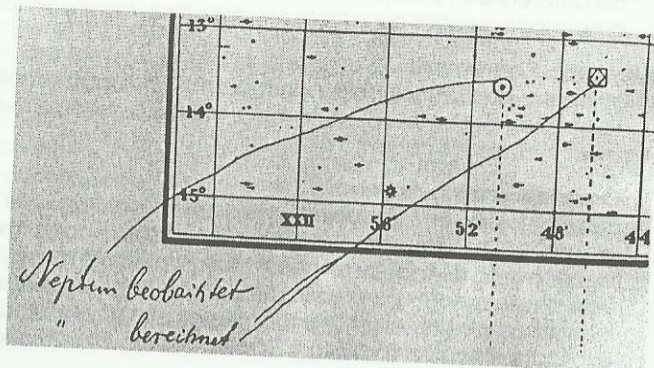
↗ Planetoizii, p. 89.

Descoperirea planetelor Uranus, Neptun și Pluto

În anul 1781, F.W. Herschel descoperă planeta Uranus, vizibilă doar cu ajutorul telescopului. Din perturbațiile orbitei lui Uranus, U.J. Leverrier a dedus, cu ajutorul legii gravitației, poziția unei planete încă necunoscute, care a fost găsită de J.G. Galle (1846) în apropierea poziției calculate de Leverrier și care a primit numele de Neptun. Planeta Pluto a fost descoperită întâmplător, prin observații fotografice, de către T.C. Tombaugh (1930).

↗ Uranus, p. 73; ↗ Neptun, p. 73; ↗ Pluto, p. 73.

Șișta
descoperirii
planetei
Neptun



Astrometria

La începutul secolului al XIX-lea, astronomii au început să fie din ce în ce mai interesați de studiul stelelor fixe. Prin aceasta au fost dezvoltate metodele astrometrice existente. Observațiile și calculele s-au îndreptat spre măsurarea cu mai mare exactitate a poziției corpurilor cerești.

Primele măsurări ale paralaxelor stelelor fixe

Concepția heliocentrică a mișcării pe orbită a Pământului în jurul Soarelui a favorizat încercările de determinare a paralaxelor la stelele fixe.

Astfel E. Halley (1718) a descoperit mișcările proprii ale stelelor fixe, iar J. Bradley (1728) aberația luminii stelare.

Friedrich Wilhelm Bessel (1835) a determinat prima parallaxă a unei stele fixe și a putut să indice depărtarea stelei 61 din Lebadă.

Cam în același timp, W. Struve și Th. Henderson descoperă deplasarea de parallaxă la stelele α Centauri și Vega.

Măsurătorile amintite erau dovezi pentru mișcarea Pământului pe o orbită în jurul Soarelui și negau ideea existenței unei așa-numite sfere a stelelor fixe.

↗ Determinarea trigonometrică a distanței, p. 109.

Statistica stelară

La începutul secolului al XIX-lea începea o mai detaliată cercetare a sistemului nostru stelar, în centrul atenției stând structura sa și mișcările care au loc în cuprinsul său.

Speculații și prime cercetări ale structurii Căii Lactee

G. Bruno (în jurul anului 1600) susținea ideea speculativă că Universul ar fi un spațiu infinit, populat de un mare număr de soți, în jurul cărora se pot roti planete. Th. Wright (1750) a elaborat primul plan al constituirii Universului. Din observațiile cu telescopul, el știa că sistemul nostru stelar, Calea Lactee, este compus dintr-o mulțime de stele.

El a promovat ideea unui sistem stelar în formă de disc, ce are extindere maximă pe direcția planului care conține discul.

Kant (1755) a dezvoltat ideea lui Wright, susținând că aplatizarea sistemului stelar s-ar datora propriei sale rotații.

J.H. Lambert a dedus din observarea Căii Lactee că sistemul nu este sferic, ci plat ca un disc, diametrul său fiind considerabil mai mare decât grosimea sa. Considerațiile speculative au influențat cercetările ulterioare din domeniul statisticii stelare.

Herschel (1784) a studiat repartitia stelelor în spațiu, numărând toate stelele vizibile cu ajutorul telescopului său. El trece drept fondator al statisticii stelare. Din numărarea stelelor, Herschel a dedus un model asupra structurii sistemului nostru stelar, pe care el îl vedea ca pe o lentilă plată. Pentru dimensiunile Căii Lactee, el a dat valori prea mici, iar părerea sa că Soarele s-ar afla în centrul galaxiei a fost contrazisă de descoperirile ulterioare.

↗ Calea Lactee, p. 139.

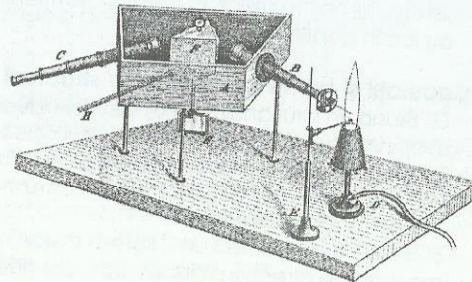
DEZVOLTAREA ASTRONOMIEI CA DISCIPLINĂ DE SPECIALITATE

Apariția astrofizicii

Progresele fundamentale ale cunoașterii în fizică și recurgerea la procedee de lucru specifice fizicii în cercetarea astronomică au condus în cea de a doua jumătate a secolului al XIX-lea la cristalizarea astrofizicii – un domeniu nou, iar astăzi domeniul cel mai important al astronomiei. Astrofizica se ocupă, înainte de toate, cu cercetarea structurii fizice și a compoziției chimice a obiectelor cosmice, ca și cu cercetarea evoluției lor. Cele mai importante metode de lucru ale astrofizicii sunt spectroscopia, fotometria și utilizarea fotografiei, metode care se condiționează reciproc.

Spectroscopia. Aceasta constituie un fundament al astrofizicii. În 1814, Fraunhofer descoperă, descompunând lumina solară cu ajutorul unei prisme pe un continuum luminos, circa 500 de linii întunecate, a căror cauză însă nu a putut-o înțui. G.R. Kirchhoff și R.W. Bunsen au comparat liniile obținute de Fraunhofer cu spectrele elementelor chimice, dovadă fiind prezența a numeroase elemente cunoscute, aflate pe Soare în stare gazoasă (1859). Prin aceasta, astronomia avea pentru prima dată posibilitatea de a cerceta calitatea luminii stelare și de a trage concluzii asupra stării fizice și a compoziției chimice a stelelor.

↗ Analiza spectrală, p. 123.



Aparatul spectral al lui Kirchhoff și Bunsen

Fotometria. Până în secolul al XIX-lea, strălucirea stelelor era apreciată pe baza unei scale de strălucire (ex. Argelanders 1844). K.F. Zöllner a construit un aparat special, fotometrul, folosit pentru măsurarea strălucirii stelelor (1861). Prin aceasta, exactitatea măsurătorilor a crescut considerabil.

↗ Magnitudinea fotometrică a stelelor, p. 108.

Fotografia. La sfârșitul secolului al XIX-lea, observarea vizuală a corpurilor cosmice a fost înțregită prin introducerea fotografiei. Acest procedeu are avantajul de a însuma amprenta luminoasă a obiectelor cosmice. Prin folosirea unor timpi de expunere corespunzători, pot fi redată chiar și obiectele inaccesibile observațiilor vizuale. Plăcile fotografice folosesc drept documente pentru aprecieri ulterioare ale observației. La sfârșitul secolului al XIX-lea, folosirea metodelor de cercetare astrofizică amintite mai sus au dus la acumularea unui cuprinzător material de observație, în special despre Soare și despre stelele cu luminozitate variabilă.

Cercetarea structurii stelelor

Astrofizica, în evoluția sa, a ridicat întrebări asupra stării materiei din interiorul stelelor, ce nu putea fi observată direct și care nu putea fi cercetată decât teoretic. Bazându-se pe legile termodinamicii (1865) și teoria cuantică (1900), s-a dezvoltat încetul cu încetul o teorie a structurii interne a stelelor. H. Lane a ajuns la concluzia că legea gazelor ar fi valabilă și pentru stele (1870).

R. Emden considera stelele ca fiind sfere de gaz (1907). K. Schwarzschild a schițat un tablou al echilibrului radiativ al Soarelui (1908). M.N. Saha a dezvoltat o teorie a ionizării termice în atmosferele stelare (1920).

Pe aceste date se bazează ideea că atmosferele stelare sunt constituite în mare parte din hidrogen. A.S. Eddington ajunge la concluzia că energia produsă în interiorul stelelor este transportată la suprafața stelară sub formă de radiații (1927).

Diagrama Hertzsprung–Russell (1913). E. Hertzsprung și H.N. Russell au descoperit, pe baza dispunerii stelelor într-o diagramă, corelații între mărimile lor de stare, de exemplu legături între magnitudine absolută și clasa spectrală (diagrama de stare). Diagrama propusă era, în același timp, o cheie pentru înțelegerea evoluției stelelor (diagrama de evoluție).

↗ Structura internă a stelelor, p. 124; ↗ DHR, p. 127.

CERCETAREA ASTRONOMICĂ ÎN SECOLUL AL XX-LEA

Cercetarea astronomică a secolului al XX-lea a fost marcată în special de următoarele evenimente:

- îmbunătățirea și amplificarea tehnicii de observare și de evaluare;
 - studierea proceselor evolutive în Cosmos;
 - cercetarea structurii spațiale a Universului;
 - cercetările directe și în apropierea corpurilor cerești ale Sistemului Solar.
- Descoperirile și cunoștințele, reunite, au dus la crearea concepției astronomice contemporane.

Dezvoltarea tehnicilor de observație

Construcția de mari telescoape cu oglindă

Aproape în același timp cu descoperirea lunetei, a fost construit primul telescop cu oglindă (Newton, 1668). Fiabilitatea telescoapelor cu oglindă a crescut continuu. La sfârșitul secolului al XIX-lea și începutul secolului al XX-lea, tehnologia construcției telescoapelor luase un mare avânt. Mari telescoape au apărut mai ales în S.U.A.

În 1917 este inaugurat observatorul de pe Muntele Wilson (S.U.A.), dotat cu un telescop cu o oglindă de diametru 2,5 m. Din 1948, în dotarea observatorului de pe Muntele Palomar (S.U.A.) se găsește un telescop cu o oglindă de 5,08 m diametru. În 1976, la Zelenchuk (fosta U.R.S.S.) a fost pus în funcțiune un observator cu o oglindă de 6,1 m diametru.

Noua tehnică optică de observare. Pe Muntele Hopkins (S.U.A.) se află un așa – numit *Multimirror-Telescop*, unde razele de lumină captate de șase oglinzi cu o deschidere de 1,82 m sunt concentrate într-un focar comun.

Este prevăzută construcția unor telescoape cu diametrul oglinzii de până la 15 m, cu un sistem de oglinzi compus din mai multe piese (New Technology Telescope). Pentru a folosi la maximum costisitoarea aparatură, acestea vor fi amplasate în zone cu o climă favorabilă și vor fi exploatate internațional. ESO are în plan montarea unui telescop în Chile, compus din patru telescoape a câte 8 m diametru și care are eficacitatea unui telescop de 16 m (Very Large Telescope). Pe La Silla (2400 m), în apropiere de Santiago de Chile, se află Observatorul Sudic European, folosit pentru observații de cel puțin opt țări europene.

Exploatarea marilor telescoape. Observatoarele moderne, automatizate și comandate prin satelit, sunt folosite rar pentru observații vizuale. Această sarcină este preluată de transformatoare optice și de camere CCD. Cu ajutorul lor, sensibilitatea și distanța de observație a aparatelor crește considerabil. Informațiile sunt stocate și pot fi utilizate ca documente.
 ↗ Reflector, p. 14; ↗ Telescop cu oglinzi multiple, p. 16.

Radioastronomia

În prima treime a secolului al XX-lea s-a reușit, pentru prima dată, captarea radiației de undă venită din spațiu (K.G. Jansky, 1932). Prin aceasta, astronomiei i se deschidea, pe lângă fereastra optică, o fereastră nouă, cea a undelor radio. Apărea astfel radioastronomia, care a cunoscut o dezvoltare rapidă după cel de-al doilea război mondial. Radiotelescoapele receptează radiații emise de obiectele cosmice, invizibile în domeniul optic. Avantajul său îl constituie marea putere de pătrundere în interiorul Universului, pe care nu o au telescoapele optice. Dezavantajul constă în rezoluția mai mică decât cea a instrumentelor optice.

Radioastronomia a condus la înregistrarea unui mare număr de descoperiri. Prin intermediul observațiilor radioastronomice s-au descoperit, printre altele, emisia de unde radio cu lungimea de undă de 21 cm a atomilor neutri de hidrogen ce se află în spațiul interstelar (1951), quasarii (1963), radiația 3K (1962), molecule anorganice și organice (1963), pulsarii (1967).

Radiointerferometrul (sistemul de interferență). Cuplarea a două sau mai multor antene la un receptor cu o bază cât mai dezvoltată (de la câteva sute până la câteva mii de km) produce o creștere maximă a rezoluției, ceea ce face ca fiabilitatea radiotelescoapelor să fie mai mare decât cea a celor mai bune sisteme optice.

↗ Radiotelescopul, p. 21; ↗ Radiointerferometrul, p. 21.

Intrarea tehnicii spațiale în cercetarea astronomică

Intrarea tehnicii spațiale în cercetarea astronomică în cea de-a doua jumătate a secolului al XX-lea a lărgit și a schimbat imaginea noastră despre Cosmos. Cercetarea corpurilor cerești ale Sistemului Solar, atât din imediata apropiere, cât și directă, transportul materialului cosmic pentru examinarea în laboratoarele terestre, ca și primii pași făcuți pe suprafața Lunii de către locuitorii Pământului (N. Armstrong, E. Aldrin, 1969) au condus la senzaționale descoperiri. Sondele spațiale au descoperit, printre altele, vulcani activi pe satelitul jupiterian Io, sateliți până acum necunoscuți, inelele planetelor Jupiter, Uranus și Neptun etc.

Hubble Space Telescope. Un telescop cu o oglindă de 2,4 m diametru care, din anul 1990, evoluează pe o orbită în jurul Pământului. El transmite din spațiul cosmic imagini de înaltă definiție a corpurilor cosmice.

↗ Telescopul spațial, p. 22.

Apariția astronomiei „all waves”

Datorită zborurilor cosmice a devenit posibil, prin echiparea cu detectori speciali, să se recepționeze informații despre radiația din întreg spectrul electromagnetic. A apărut astfel astronomia panspectrală, care a deschis noi domenii de activitate.

Astronomia în infraroșu. Captatorii IR montați pe sateliți cercetează, printre altele, radiația infraroșie a stelelor tinere, al căror înveliș de praf este încălzit din interior spre exterior.

Astronomia în ultraviolet. Studiază, printre altele, Soarele în domeniul UV și obiectele ale căror maximum de radiație se află în domeniul ultraviolet, de exemplu Galaxiile Seyfert și quasarii.

Astronomia în domeniile Roentgen și gamma. Cercetează sursele de radiație Roentgen din galaxii, de exemplu sistemele de stele duble, și din sistemele extragalactice. Printre sateliții Roentgen de succes se numără UHURU (1970), Einstein (1978) și ROSAT (1990).

↗ Telescopul în infraroșu, p. 22; ↗ Telescopul Roentgen, p. 22.

Descoperiri și cunoștințe

Descoperirea surselor de emisie energetică a stelelor

Mult timp a dominat convingerea că stelele își dobândesc energia prin contracție (Helmholtz, 1846). Dezvoltarea fizicii atomice în secolul al XX-lea i-a condus pe A.H. Bethe și C.F. von Weizsäcker, independent unul de celălalt, la concluzia că sursa emisie de energie o constituie procesele atomice care au loc în interiorul stelelor (1938). Prin acest proces, o stea își poate produce energia timp de milioane și miliarde de ani.

↗ Fuziunea nucleară, p. 125.

Elaborarea unei teorii privind evoluția stelelor

Deja I. Kant a emis ideea că formarea corpurilor cerești are o origine mecanică (1755). F.W. Herschel a dedus din observarea formelor nebuloaselor existența unei legături cu evoluția stelelor și a sistemelor stelare (1802). K.F. Zöllner elaborează o teorie a evoluției stelelor (pe la 1860). E. Hertzsprung și H.N. Russel bănuiesc existența gigancilor și piticilor (1913). H. Vogt și Russel descoperă că evoluția unei stele este posibilă atunci când masa sa ori compoziția chimică se schimbă (teoria univocității, 1930). Elaborarea unei teorii științifice a evoluției stelelor a fost posibilă abia după descoperirea adevăratelor surse de energie ale stelelor. La mijlocul secolului al XX-lea s-a reușit simularea pe calculator a modificărilor pe timp îndelungat produse în structura solară. Prin aceasta a devenit posibilă reconstituirea pe baze științifice a evoluției stelelor.

În ultimele decenii, înțelegerea evoluției stelelor s-a adâncit prin adăugarea de noi cunoștințe. În prezent, cercetările se concentrează în special asupra formării stelelor și a planetelor.

- ↗ Teoria Kant-Laplace privind formarea sistemului solar, p. 96;
- ↗ Evoluția stelelor, p. 134;
- ↗ Formarea planetelor din stele, p. 134.

Explorarea structurii galaxiei noastre

Teoriile despre Calea Lactee, elaborate în secolele al XIX-lea și al XX-lea, au fost completate de noile descoperiri survenite în prima jumătate a secolului al XX-lea. Astfel, H. Shapley determină depărtarea față de roiurile globulare și comunică dimensiunile reale ale galaxiei noastre (1918). M. Wolf aduce, cu ajutorul recensămintelor stelare, dovada că între stele se află materie întunecată (1920). Studiind raporturile de mișcare ale stelelor în sistemul Căii Lactee, J.H. Oort și B. Lindblad descoperă rotația diferențială a Galaxiei (1927). Observații radioastronomice conduc la descoperirea emisiei pe lungimea de undă de 21 cm a hidrogenului neutru interstelar (1951). Se descoperă structura spiralată a galaxiei noastre.

- ↗ Calea Lactee, p. 139.

Descoperirea altor sisteme stelare

Încă din 1755, I. Kant arăta existența așa-zimitelor insule cosmice, iar F.W. Herschel era de părerea că există și alte sisteme stelare (1784). Totuși, existența altor sisteme stelare a putut fi dovedită abia la începutul secolului al XX-lea, după punerea în funcțiune a marilor telescoape. E.P. Hubble a reușit, cu ajutorul telescopului cu oglindă de 2,5 m al observatorului de pe Muntele Wilson, să descompună partea marginală a nebuloasei Andromeda în stele de sine-stătătoare și chiar să descopere stele variabile, cu ajutorul cărora a putut determina distanța la care se găsește acest sistem stelar (1923). Chiar dacă distanța găsită de Hubble era mai mică decât cea stabilită astăzi (de 2,2 milioane ani-lumină) cu circa 50%, aceste măsurători au demonstrat totuși că obiectul vizat se afla cu mult în afara sistemului Căii Lactee. Observații ulterioare a circa 120 de „nebuloase” au adus, prin descompunerea regiunilor periferice în stele de sine-stătătoare, dovada că este vorba despre sisteme stelare necunoscute până atunci.

În 1925, Hubble face o nouă clasificare a galaxiilor, clasificare ce este valabilă până astăzi. Hubble trece drept întemeietorul astronomiei extragalactice. Explorarea sistemelor stelare care tind spre formarea roiurilor (roiuri de galaxii, superroiuri) a devenit una dintre principalele ramuri de cercetare ale astronomiei, întrucât prin aceasta se acumulează noi cunoștințe despre macrostructura Universului.

- ↗ Sisteme stelare extragalactice, p. 148

Descoperirea expansiunii Universului

Între anii 1924 și 1929, Hubble (iar din 1928 și M. Humason) a cercetat spectroscopic viteza radială a galaxiilor. Deplasarea spre roșu a liniilor spectrale, pusă în evidență de aceste observații, care în baza efectului Doppler reprezintă o caracteristică pentru mișcarea de depărtare a respectivelor obiecte, a fost interpretată ca fiind dovada expansiunii Universului. Prin aceasta, previziunea teoretică a deplasării spațiale a Cosmosului, emisă în jurul anului 1920, este confirmată și prin observații. Studiind spectrele galactice, Hubble trage concluzia că viteza de îndepărtare a sistemelor stelare este cu atât mai mare, cu cât ele se află la o mai mare distanță de Calea Lactee (efectul Hubble). Sporirea vitezei de îndepărtare pe măsura creșterii depărtării sistemului stelar este desemnată drept constanta Hubble. Hubble a găsit valoarea acestei constante $H_0 = 580 \text{ km/s} \cdot \text{Mpc}$.

Determinări mai exacte ale distanțelor au diminuat ulterior de mai multe ori această valoare.

- ↗ Expansiunea Universului, p. 157.
- ↗ Viteza de evadare, p. 58, 158.
- ↗ Constanta Hubble, p. 158.

Cristalizarea cosmologiei moderne

Pe baza teoriei generale a relativității a lui Albert Einstein (1915) și a descoperirii ulterioare a expansiunii Universului (1929), la începutul secolului al XX-lea a luat naștere cosmologia modernă, care se ocupă cu studiul structurii și evoluției Universului ca întreg, ca și cu elaborarea, în lumina noilor descoperiri, de modele ale Universului. Cosmologia, alături de cosmogonie (cercetarea evoluției obiectelor cosmice), a devenit o ramură dominantă a astronomiei. În jurul anului 1920, A. Friedmann și W. de Sitter elaborează, pe baza teoriei generale a relativității, un model universal axat pe mișcarea spațială a Cosmosului, model certificat științific, prin observații, în 1929.

- ↗ Modele ale Universului, p. 159.

Teoria big bang-ului

În anul 1927, A.G. Lemăître face publică o teorie, susținută mai târziu, în 1948, cu argumente fizice de către G. Gamow, conform căreia Universul actual ar fi apărut în urma exploziei (big bang) a unui punct material foarte fierbinte și extrem de dens. Teoria big bang-ului a fost modificată în special după 1980. Astfel, în anul 1983, A. Guth propune modelul inflaționar.

În afară de acesta, au apărut și alte alternative la teoria big bang-ului.

- Descoperirea radiației de 3K (1965) este o excelentă dovadă pentru temeinicia prognozei teoretice a lui Lemăître și Gamow.

- ↗ Explozia inițială, p. 161.
- ↗ Univers inflaționar, p. 162.

ISTORIA ASTRONOMIEI – TABEL CRONOLOGIC

Tabelul cronologic prezintă, în date selecționate, principalele etape ale istoriei cunoașterii științifice care au condus la cristalizarea modelului cosmologic actual.

Anul	Evenimentul
aproximativ 3000 î.Hr.	Egiptenii dezvoltă un calendar pe baza anului solar de 365 de zile.
3379 î.Hr.	Maiasii observă o eclipsă totală de soare (15.02. 3379 î.Hr.).
aproximativ 2700 î.Hr.	Babilonienii numesc principalele constelații.
aproximativ 1250 î.Hr.	Chinezii dăltuiesc hărți cerești în piatră.
aproximativ 1200 î.Hr.	Babilonienii împart orbita aparentă a Soarelui în 12 semne zodiacale.
763 î.Hr.	Prima eclipsă totală de Soare consemnată în Babilon.
aproximativ 450 î.Hr.	Philolaos din Croton emite ideea că în mijlocul Universului s-ar afla un foc central, în jurul căruia s-ar mișca și Soarele, și Pământul, și plantele.
aproximativ 370 î. Hr.	Eudoxos din Cnidos construiește o teorie a sferelor concentrice în scopul explicării mișcării planetelor.
aproximativ 350 î.Hr.	Aristotel fundamentează ideea formei sferice a Pământului, ținând seama de umbra de formă sferică aruncată de Pământ în timpul eclipselor de Lună.
aproximativ 270 î.Hr.	Aristarh din Samos susține speculativ sistemul heliocentric. El încearcă să calculeze distanța până la Soare și Lună, folosindu-se de construcții geometrice.
aproximativ 220 î.Hr.	Eratostene află pentru prima dată circumferința Pământului și găsește înclinarea eclipticei.
aproximativ 150 î.Hr.	Hiparh notează în cataloage poziția și luminozitatea stelelor și descoperă, printre altele, precesia.
aproximativ 150	Claudius Ptolemeu (100–178) adună știința astronomică a antichității în opera sa „ <i>Mathematices syntaxeos biblia XII</i> ”, care primește mai târziu numele de „ <i>Almagest</i> ” și care fundamentează sistemul geocentric.
1252	Din porunca lui Alfons al X-lea de Castilia sunt întocmite cele mai cunoscute tabele planetare ale Evului Mediu.

1420	Ulugh Beg înalță în Samarkand un observator și studiază stelele cuprinse în catalogul lui Ptolemeu.
1460	Georg Purbach (1423–1461) și Johannes Müller (Regiomontanus, 1436–1476) îmbunătățesc sistemul geocentric pe baza observațiilor lor asupra planetelor.
1474	Regiomontanus aduce pentru prima oară la cunoștința publicului descoperirea prin calcul a efemeridelor planetare.
1543	Opera principală a lui Nicolaus Copernic (1473–1543) apare sub titlul „ <i>De revolutionibus orbium coelestium libri VI</i> ”. Ea pune bazele sistemului heliocentric.
1588	Tycho Brache (1546–1601) prezintă o teorie a planetelor care apare ca un compromis între teoriile heliocentrice și geocentrice, Brahe trece drept cel mai mare observator al timpurilor pretelescopice.
1600	Giordano Bruno (1543–1600) este condamnat de Inchiziție ca eretic și ars pe rug. Pentru el, Universul este nemărginit și cu un număr nesfârșit de sori, în jurul cărora se învârt planete; pe o parte din acestea este posibilă existența vieții.
1609	Johannes Kepler (1546–1601) prezintă în cartea sa „ <i>Astronomia Nova</i> ” două legi, formulate matematic, ale mișcării planetelor. A treia lege găsită de el a fost publicată în anul 1619 în lucrarea „ <i>Harmonices mundi</i> ”.
1609	Galileo Galilei întreprinde prima observație a corpurilor cerești cu ajutorul lunetei, descoperind, printre altele, munții de pe Lună, petele solare, patru sateliți ai lui Jupiter și fazele planetei Venus. În principala sa operă, „ <i>Discorsi</i> ”, susține sistemul heliocentric, ceea ce îl atrage, în anul 1633, condamnarea din partea Inchiziției.
1633	René Descartes (1596–1650) descrie în teoria sa turbionară Universul ca fiind rezultatul unui proces de dezvoltare istorică.
1676	Olaf Römer (1644–1710) determină viteza luminii pe baza intrării în conul de umbră a sateliților lui Jupiter.
1687	Isaac Newton (1643–1727) fundamentează teoria gravitației în principala sa operă, „ <i>Philosophiae naturalis principia mathematica</i> ”.
1706	Edmund Halley (1656–1742) calculează orbita cometelor; găsește timpul în care cometa ce îi poartă numele descrie o rotație completă în jurul Soarelui.
1718	Halley descoperă mișcarea proprie a stelelor fixe.
1728	John Bradley (1692–1762), aflat în căutarea paralaxelor stelelor, descoperă aberația luminii stelare.

1750	Thomas Wright (1711–1786) face publică o primă descriere a formării Universului.
1755	Immanuel Kant (1724–1804) fundamentează în opera sa „Allgemeinen Naturgeschichte und Theorie des Himmels”, pe baza legii gravitației, ideea apariției naturale a corpurilor cerești și a evoluției Universului.
1781	Friedrich Wilhelm Herschel (1738 – 1821) descoperă planeta Uranus.
1783	Herschel descoperă mișcarea proprie a Sistemului Solar.
1784	Herschel face publice rezultatele observațiilor sale asupra Căii Lactee și fundamentează cu aceasta statistica stelară.
1794	Ernst Lorenz Friedrich Cladni (1756–1827) deduce din cercetări originea cosmică a meteoritilor.
1796	Pierre Simon Laplace (1749–1827) explică formarea planetelor din inelele de gaz desprinse din Soare.
1801	Giuseppe Piazzi (1746–1826) descoperă primul planetoid (Ceres). Herschel descoperă natura fizică a stelelor duble.
1809	Carl Friedrich Gauss (1777–1855) publică metoda sa clasică de calculare a orbitelor planetelor.
1814	Joseph Fraunhofer (1787–1826) descoperă în spectrul solar peste 500 de linii de absorbție.
1838	Friedrich Wilhelm Bessel (1784–1846) calculează paralaxa stelei G1 Cygni. În același timp, W. Struve și Th. Herderson calculează și alte paralaxe. Se demonstrează astfel depărtarea diferită a stelelor față de Pământ.
1846	Johann Gottfried Galle (1812–1910) descoperă planeta Neptun pe baza punctelor în care orbita lui Uranus prezenta „perturbații”, puncte calculate în prealabil de Urbain Leverrier (1811–1877).
1853	Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821–1894) încearcă să explice emisia de energie a Soarelui prin procesul său de contracție.
1859	Gustav Robert Kirchhoff (1824–1887) și Robert Wilhelm Bunsen (1811–1899) descoperă principiul analizei spectrale, a căruia aplicare în astronomie a deschis calea studierii fizicii corpurilor cerești.
1861	Karl Friedrich Zöllner (1834–1882) descoperă fotometrul, folosit pentru măsurarea intensității luminii stelare. El este cofondator al astrofizicii.
1864	William Huggins (1824–1910) observă primul liniile de emisie în spectrul nebuloaselor.

1866	Angelo Secchi (1818–1878) introduce prima clasificare a spectrelor astrale, care va fi întregită și extinsă de către Hermann Carl Vogel, Edward Charles Pickering ș.a.
1868	Huggins întreprinde prima măsurătoare a vitezei radiale a stelelor.
1887	Max Wolf (1863–1932) și E.E. Barnard (1857–1923) realizează pentru prima dată înregistrări fotografice ale obiectelor cosmice.
1898	Hugo von Seelinger (1840–1924) și Jacobus Kapteyn (1851–1922) cercetează cu ajutorul metodelor statistice răspândirea stelelor în spațiu.
1906	Karl Schwarzschild (1873–1916) publică o teorie asupra atmosferelor stelare.
1907	Robert Emden (1862–1940) prezintă o teorie a structurii stelare.
1913	Henry Norris Russell (1877–1957) combină într-o diagramă mărimile de stare ale stelelor (diagrama Hertzsprung–Russell).
1915	Albert Einstein (1879–1955) publică teoria generală a relativității, care constituie baza științifică pentru cosmologia modernă.
1918	Harow Shapley (1885–1972) cercetează răspândirea în Univers a nebuloaselor sferice și descoperă, cu această ocazie, adevăratele dimensiuni ale Căii Lactee.
1920	Wolf dovedește prin recensăminte stelare existența găurilor negre și aduce dovada că între stele există materie care este absorbită.
1920	Megh Nad Saha (1893–1956) dezvoltă o teorie a ionizării în atmosferele stelare.
1922	Alexander Friedmann (1888–1925) dezvoltă pe baza teoriei generale a relativității modelul unui univers în continuă expansiune.
1923	Edwin Powell Hubble (1889–1955) reușește să măsoare distanța până la alte sisteme solare. El trece drept întemeietorul astronomiei extragalactice.
1927	John Hendrik Oort (1900–1992) și Bertil Lindblad (1895–1965) descoperă rotația diferențială a galaxiei noastre.
1927	Arthur Stanley Eddington (1882–1944) emite o teorie modernă a structurii stelelor.
1927	Georges Lemaître (1894–1966) își publică teoria despre nașterea universului actual dintr-un atom primordial.

1929	Hubble și Milton Lasalle Humason (1891–1972) descoperă în spectrele galaxiilor îndepărtate o virare spre roșu, explicată prin expansiunea Universului.
1930	Clyde William Tombaugh găsește planeta Pluto pe o înregistrare fotografică.
1932	Karl Guthe Jansky (1905–1950) receptează emisii radio din galaxii și deschide, în acest mod, o nouă fereastră de observație astronomică.
1938	Hans Albrecht Bethe și Carl Friedrich von Weizsäcker descoperă procesele fizice din nucleul stelelor, sursă a emisiei de energie a stelelor.
1943	Walter Baade (1893–1960) deduce existența a două populații stelare.
1947	Viktor Ambazumian descoperă asociațiile stelare.
1949	Purcell și Ewen descoperă linia de 21 cm a hidrogenului neutru, presupusă de H.C. van Hulst și Iosif Șklovski.
1952	Martin Schwarzschild și Allan Rex Sandage dovedesc prin calcule că gigantica roșie reprezintă un stadiu al evoluției unei stele.
1958	James A. van Allen descoperă centura de radiații a Pământului.
1959	Primele fotografii ale feței invizibile a Lunii, realizate cu ajutorul unei rachete.
1961	Iuri Gagarin (1934–1968) întreprinde primul zbor al unui om în spațiul cosmic.
1962	R. Rossi și Ricardo Giacconi descoperă baza radiației Roentgen.
1963	Maarten Schmidt descoperă primul quasar.
1965	Arno Penzias și Robert Woodrow Wilson descoperă radiația 3 K.
1965	Rudolf Kippenhahn și Alfred Weigert dezvoltă un model numeric al evoluției stelelor.
1969	Neil Armstrong și Edwin Aldrin sunt primii pământeni care pășesc pe suprafața Lunii.
1969	Prin observații radioastronomice se demonstrează pentru prima dată existența moleculelor organice în spațiul interstelar.
1974	Înregistrări de la mică distanță scot la iveală structuri de cratere pe suprafața planetei Mercur.
1974	R.A. Hulse și J.H. Taylor observă dublul pulsar 1913 + 16 (1974).
1976	Sunt transmise spre Pământ primele imagini ale unui peisaj marțian.

1977	J. Elliot, T. Dunham și D. Mink descoperă un sistem de inele la planeta Uranus.
1978	W. Christy descoperă satelitul planetei Pluto, Charon.
1979	O sondă spațială descoperă sulfo-vulcanismul de pe satelitul lui Jupiter, Io, și inelele din jurul planetei Jupiter.
1982	Descoperirea unor mari spații libere de materie în Cosmos, un prim indiciu al structurii celulare a Universului.
1986	Înregistrări de la mică distanță ale suprafeței planetei Uranus. Sunt descoperiți cel puțin zece sateliți ai lui Uranus.
1986	Explorarea de la mică distanță a cometei Halley.
1987	I. Shelon descoperă o supernovă (SN 1987A) în Marele Nor al lui Magellan.
1989	O sondă spațială descoperă inele în jurul planetei Neptun și găsește cel puțin șase sateliți ai acestuia.
1989	Este lansată sonda spațială Magellan, având ca țintă planeta Venus.
1989	Lansarea satelitului de astrometrie HIPPARCOS.
1990	Punerea în funcțiune a primului mare telescop din spațiul extraterestru (HUBBLE SPACE TELESCOPE).
1990	Lansarea satelitului Roentgen ROSAT.
1990	Lansarea sondei spațiale GALILEO, a cărei țintă este planeta Jupiter.
1991	Lansarea satelitului GRO pentru măsurarea radiației gamma din spațiu.
1992	Primele imagini de la mică distanță ale suprafeței unui planetoid (Gaspera).
1994	Observarea căderii de fragmente din cometa Shoemaker-Levy 9 în atmosfera jupiteriană.

UNITĂȚI FIZICE ȘI SIMBOLURI ASTRONOMICE; ABREVIERI

☉ Soare	♃ Jupiter	♈ Berbec	♎ Balanță
☾ Lună	♄ Saturn	♉ Taur	♏ Scorpion
☿ Mercur	♅ Uranus	♊ Gemeni	♐ Săgetător
♀ Venus	♆ Neptun	♋ Rac	♑ Capricorn
♁ Pământ	♇ Pluto	♌ Leu	♒ Vărsător
♂ Marte		♍ Fecioară	♓ Pești

♌ conjuncție	ω argument de latitudine al periheliului	} elementele orbitei
☐ cuadratură	q cea mai mică distanță față de Soare	
♊ opoziție	Q cea mai mare distanță față de Soare	
♊ nod ascendent	Ω longitudinea nodului ascendent	
♊ nod descendent	i înclinarea orbitei	
	e excentricitatea orbitei	
	a semi-axa mare a orbitei	
	T momentul trecerii prin periheliu, perigeu, periastru	

a azimut	pc parsec
Å Angström	P,U perioada de revoluție
UA unitate astronomică	Sp clasa spectrală
d distanța polară	t unghiul orar
f distanța focală	TLR timp local real
g accelerație gravitațională	UT timp universal
G constanta gravitației	z distanța zenitală
h înălțime	z deplasarea spre roșu
h ora	♈ punct vernal
H ₀ constanta Hubble	α ascensie dreaptă
I intensitate	δ declinație
L luminozitate	t timp stelar
a.l. an-lumină	p paralaxă
m magnitudine aparentă	φ latitudine geografică
CET Ora Europei Centrale	' minut de arc
CEST Ora de vară a Europei Centrale	" secundă de arc

Prescurtările h, min, s (oră, minut, secundă) date ca indici superiori (de exemplu 23^h 30^{min} 24^s) reprezintă un moment dat, respectiv coordonatele punctului. Când aceste prescurtări au aceeași mărime ca și cifrele pe care le preced (de exemplu 23h 30min 24s) atunci ele reprezintă durata. 36° 24' 48" înseamnă 36 grade, 24 minute de arc și 48 secunde de arc.

INDEX

- A**
 accelerația gravitațională 120
 activitatea solară 104
 Almagest 171
 analiza spectrală 123
 anotimpuri 34
 anul 39
 anul bisect 39
 anul comun 39
 anul-lumină 112
 apariția astrofizicii 176
 arheoastronomie 165
 ascensia dreaptă 44
 asociațiile de stele 142
 astrologia 166
 astrometria 175
 astronomia 7, 165
 astronomia „all waves” 179
 astronomia în America Centrală 168
 astronomia în Babilon 166
 astronomia în Egipt 167
 astronomia în Evul Mediu timpuriu 171
 astronomia în Grecia 168
 atlasul stelar 28
 azimutul 42
- B**
 bucle
 orbitelor planetare 53
- C**
 Calea Lactee 139
 calcularea orbitelor pentru corpurile cerești artificiale 57
 calendarul 39
 calendarul gregorian 39
 calendarul iulian 39
 caracteristicile cometelor 90
 câmpuri de radiații 9
 câmpuri gravitaționale 9
 câmpuri în Univers 9
 câmpuri magnetice 9, 121
 centura Van Allen 66
 cercul orar 43
 Charon 88
 ciclul Bethe-Weizsäcker 125
 ciclul Saros 80
 clasa de strălucire 129
 clasa spectrală 120
 coelostatul 19
 cometele 90
 condritele 94
 constanta Hubble 158, 181
 constanta solară 101
 constelațiile 27
 coordonatele astronomice 40
 coordonatele ecliptice 45
 coordonatele ecuatoriale 44
 coordonatele galactice 46
 coordonatele heliocentrice 46
 coordonatele orare 43
 coordonatele orizontale 41
 coordonatele sferice 40
 coronograful 16
 corpul radiant negru 114
 corpurile cerești artificiale 57
 cosmogonia Sistemului Solar 96
 cosmologia 155, 181
 Cosmosul 8
 culminația 31
- D**
 data iuliană 40
 declinația 44
 definiția astronomică a timpului 35
 definiția fizică a timpului 35
- definiția timpului 35
 densitatea critică a materiei 157
 densitatea medie a stelelor 119
 depărtarea sistemelor stelare 152
 descoperirea altor sisteme stelare 180
 descoperirea expansiunii Universului 181
 descoperirea planetelor Uranus, Neptun și Pluto 174
 descoperirea planetoizilor 174
 determinarea diametrului stelelor 116
 determinarea distanțelor:
 – prin metoda cefeidelor 111
 – prin metoda deplasării spre roșu 111
 – prin metoda fotometrică 110
 – prin metoda trigonometrică 109
 determinarea masei stelelor 118
 determinarea temperaturii stelelor 113
 determinarea valorii curburii spațiului 157
 determinarea vârstei proceselor cosmice 161
 determinarea vârstei roliilor de stele 137
 determinarea vârstei stelelor 136
 diagrama culoare - magnitudine 129
 diagrama Hertzsprung - Russell 127, 177
- E**
 eclipsele 78
 eclipsele de Soare 78
 ecliptica 31

ecometoda 109

ecuatorul ceresc 26

ecuatorul galactic 46

ecuația lui Drake 135

ecuația timpului 37

efectul Doppler 122

efectul swing-by 60

efectul Zeeman 121

elementele orbitei unei

planete 52

evoluția Universului 162

experimentul în astrono-

mie 11

explorarea structurii Căii

Lactee 180

explozia inițială 161, 181

extincția 108

F

familii de comete 92

faza primordială fierbinte

a Cosmosului 161

formarea planetelor 133

formarea sistemelor stela-

re 154

formarea Sistemului Solar

96

forme de relief selenare

82

fotografia 176

fotometria 176

frecvența vieții în Cosmos

135

fusul orar 37

fuziunea nucleară 125

G

galaxiile 148

galaxii active 150

gazul interplanetar 95

gazul interstelar 144

găurile negre 135

geometria spațiului cos-

mic 156

gravitația 8, 48

H

harta cerească 28

harta cerească rotativă 28

I

ierarhia Cosmosului 155

imaginea Universului în

Grecia timpurie 169

indicele cromatic 129

inteligenta extraterestră

136

intensitatea luminii 17

interferometria Speckle 116

Î

înălțimea 41

înclinația eclipticii 31

J

Jupiter 70

L

legea deplasării a lui Wien

115

legea radiației a lui Planck

114

legea Stefan-Boltzmann

115

legile cosmogonice 97

legile lui Kepler 54, 173

legile planetelor 173

legile radiației 114

limitele cunoașterii 10

lumina cenușie a Lunii 77

lumina zodiacală 95

Luna, alcătuirea internă

84

Luna, cutremurele 84

Luna, date importante 75

Luna, eclipsele 79

Luna, fazele 77

Luna, mareele 80

Luna, mișcările 76

Luna, perioada de revo-

luție 77

Luna, proprietăți fizice 81

Luna, rotația combinată

77

Luna, satelitul terestru 75

Luna, suprafața 81

Luna, vârsta 77

luneta cu lentilă 13

M

magnitudinea 107

magnitudinea absolută

107

magnitudinea aparentă

107

magnitudinea-limită 17

mareele 80

Marele Zid 156

Marte 68

materia intergalactică

154

materia interplanetară 95

materia interstelară 9, 144

mărimile de stare ale ste-

lelor 112

mărirea 16

mecanica cerească 173

Mercur 63

meridianul 26

meteori, meteoriți 92

metoda cefeidelor 111

metoda deplasării spre

roșu 111, 122

mișcarea anuală a Soa-

relui 32

mișcarea Lunii 76

mișcarea peculiară 147

mișcarea stelelor 146

mișcarea sistemelor ste-

lare 151

mișcarea zilnică a stelelor

29

mișcările geocentrice ale

planetelor 53

mișcările heliocentrice ale

planetelor 50

modelele Universului 159

modelul Friedmann 159

modelul heliocentric 172

modelul stelar 124

montarea telescopului 17

N

nadirul 25

Neptun 74

noaptea polară 35

O

obiectele din Sistemul So-

lar 47

obiectul de studiu al astro-

nomiei 7

observarea 11

orizontul 25

orizontul aparent 25

orizontul evenimentelor 11

orizontul natural 25

orizontul Universului 159

P

parsecul 112

Pământul 65

perioada de revoluție a

planetelor 50

perioada de revoluție si-

derală:

- a Lunii 77

- a planetelor 50

perioada de revoluție si-

nodică:

- a Lunii 77

- a planetelor 50

piticile albe 134

planetele 49

planetele, apariția 96, 133

planetele, bucele orbi-

telor 53

planetele, clasificare fizică

61

planetele, dimensiuni 61

planetele jupiteriene 70

planetele, legile mișcării 173

planetele, mișcări geocen-

trice 53

planetele, mișcări helio-

centrice 50

planetele, perioada de

revoluție 50

planetele terestre 62

planetele, vizibilitatea 53

planetoizii 89

ploiile de meteori 92

Pluto 74

polii cerești 26

praful interplanetar 95

praful interstelar 145

precesia 33

principiul cosmologic 155

proces de contracție,

stelele 127

procesul Salpeter 126

producția medie de ener-

gie a stelelor 120

pulsarii 129

punctul autumnal 33

punctul vernal 33

Q

quasarii 151

R

radiația 3K 162

radiația cosmică 146

radiația relictă 162

radiogalaxiile 150

radiointerferometrul 178

radiotelescopul 21

raza de curbură 157

raza Universului 157

reacția heliului 126

reacția proton-proton 125

reflectoarele parabolice

21

reflectorul 14, 177

refractorul 13

relația perioadă - mag-

nitudine 132

repartiția masei în interiorul

stelelor 124

repartiția masei în Sistemul

Solar 48

repartiția temperaturii în

interiorul stelelor 124

revoluția siderală 77

revoluția sinodică 77

rezoluția 16

roiurile de galaxii 152

roiurile deschise 142

roiurile de stele 137, 142

roiurile globulare 143

roiurile mobile 142

rotația Căii Lactee 147

rotația combinată a Lunii

77

S

satelitul lui Pluto 88

sateliții naturali 75

sateliții galileeni 86

sateliții lui Jupiter 86

sateliții lui Neptun 88

sateliții lui Saturn 87

sateliții lui Uranus 87

sateliții lui Marte 85

sateliții planetelor jupi-

teriene 85

semnele zodiacale 31, 167

sfera cerească 25

sisteme eliptice 149

sistemele pseudospirale

149

sisteme spirale 148

sistemele stelare, desco-

perirea 180

sistemele neregulate 149

Sistemul Solar 47

Sistemul Solar, formarea

96

Sistemul Solar, vârsta 96

Soarele 99

Soarele, activitatea 104

Soarele, atmosfera 103

Soarele, caracteristici fizi-

ce 99

Soarele, compoziția chi-

mică 101

Soarele, constanta solară

101

Soarele, emisia de neutrini

101

Soarele, emisia de parti-

cule 101

Soarele, mișcarea anuală 32

Soarele, radiația 100

Soarele, relații solaro-te-

restre 105

Soarele, spectrul 100

Soarele, structura 101

spectroscopia 176

spectrul electromagnetic 7

statistica stelară 175

stelele 99

stelele, câmpuri magneti-

ce 121

- stelele circumpolare 30
 - stelele, clasa de strălucire 129
 - stelele, compoziția chimică 123
 - stelele, densitatea medie 119
 - stelele, denumirea 26, 106
 - stelele, depărtarea 112
 - stelele, determinarea distanțelor 109
 - stelele, diametrul 116
 - stelele duble 130
 - stelele, emisia de energie 120, 125, 179
 - stelele, evoluția 134, 179
 - stelele, formarea 133
 - stelele, magnitudinea 107
 - stelele, masa 118, 124
 - stelele, mișcările 146
 - stelele multiple 130
 - stelele neutronice 129
 - stelele, procese de fuziune 125
 - stelele, rotația 121
 - stelele, starea de echilibru 124
 - stelele, strălucirea 113
 - stelele, structura 124, 177
 - stelele, temperatura 113, 124
 - stelele variabile 130
 - stelele, vârsta 136
 - string-urile 156
 - structura Căii Lactee 140
 - structura cometelor 90
 - structura fizică a Sistemului Solar 47
 - structura internă a stelelor 124
 - superroiurile de galaxii 153
 - Uranus, descoperirea 174
- Ș**
- șirul Titus - Bode 51
- T**
- teoria 12
 - teoria Big Bounce 164
 - teoria epicyclului 169
 - teoria Kant - Laplace 96
 - teoria materiei - antimaterie 164
 - teoria Steady State 163
 - telescopul cu oglindă 14, 177
 - telescopul cu oglinzi multiple 16
 - telescopul în infraroșu 22
 - telescopul optic 12
 - telescopul spațial 22
 - telescopul Roentgen 22
 - timpul local 37
 - timpul sideral 38
 - timpul solar 35
 - timpul solar mediu 36
 - tipuri de viață cosmică 135
 - traiectoria diurnă 31
 - traiectoria zborurilor interplanetare 59
 - traiectoriile Hohmann 60
- U**
- unghiul orar 43
 - unitatea astronomică 112
 - unități de distanță 111
 - Universul 8
 - Universul inflaționar 162
 - Uranus 73
- V**
- variabile, stele variabile 130
 - vârsta Sistemului Solar 96
 - vârsta stelelor 136
 - vârsta Universului 160
 - Venus 64
 - viteza de evadare 58, 158
 - viteza hiperbolică 59
 - viteza orbitală a corpurilor cerești artificiale 57
 - viteza pe orbita circulară 57
 - viteza orbitală medie a planetelor 51
 - viteza radială 158
 - vizibilitatea planetelor 53
- Z**
- zenitul 25
 - ziua polară 35
 - ziua siderală 38
 - zodiacul 31